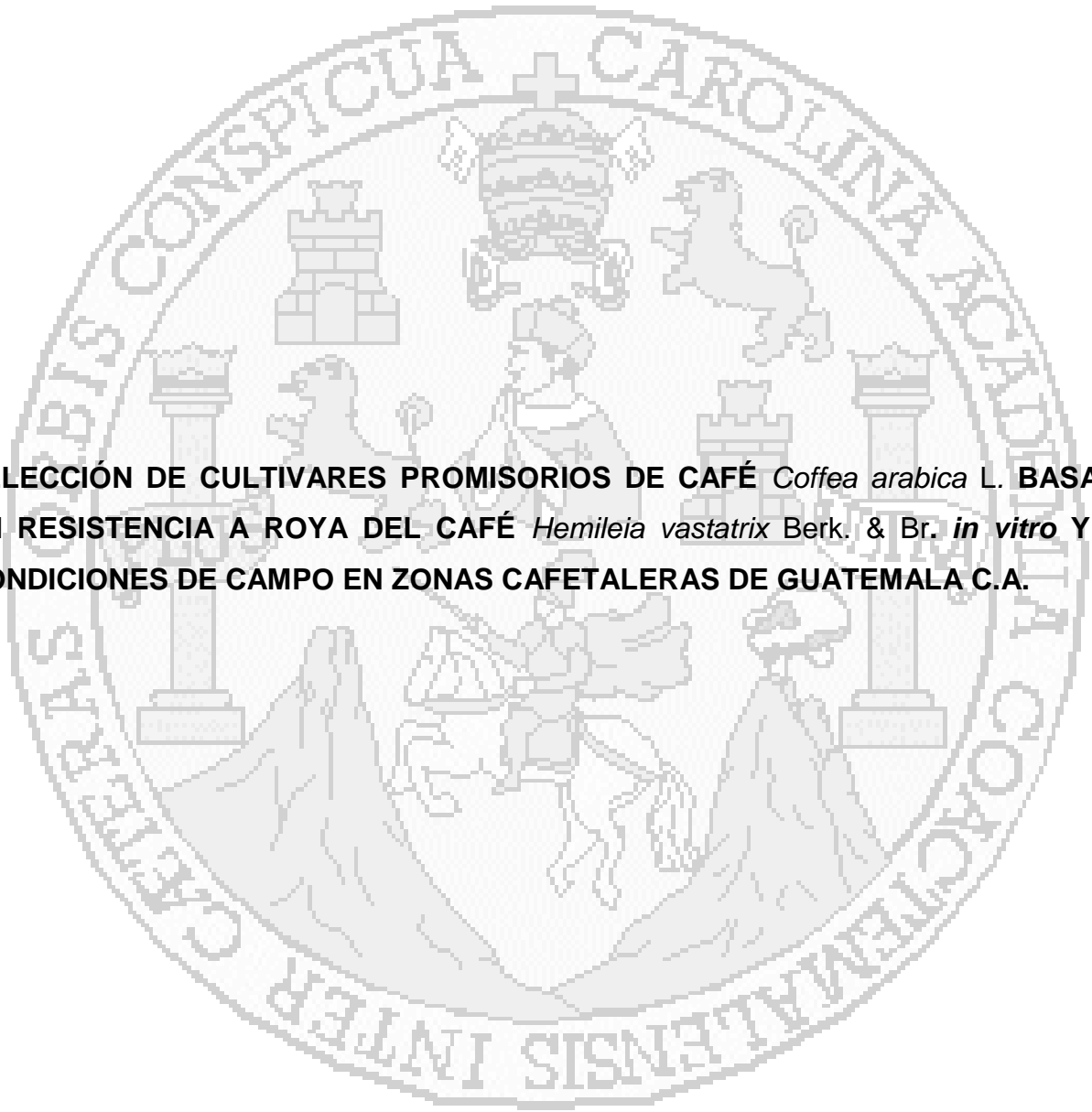


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES



SELECCIÓN DE CULTIVARES PROMISORIOS DE CAFÉ *Coffea arabica* L. BASADO EN RESISTENCIA A ROYA DEL CAFÉ *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *in vitro* Y EN CONDICIONES DE CAMPO EN ZONAS CAFETALERAS DE GUATEMALA C.A.

MYRIAM CONSUELO ESCOBAR MOLINA

GUATEMALA, ABRIL 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

**SELECCIÓN DE CULTIVARES PROMISORIOS DE CAFÉ *Coffea arabica* L. BASADO
EN RESISTENCIA A ROYA DEL CAFÉ *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *in vitro* Y EN
CONDICIONES DE CAMPO EN ZONAS CAFETALERAS DE GUATEMALA C.A.**

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MYRIAM CONSUELO ESCOBAR MOLINA

En el acto de investidura como
INGENIERO AGRÓNOMO
EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

GUATEMALA, ABRIL 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

Rector

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

Junta Directiva de la Facultad de Agronomía

Decano	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
Vocal Primero	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
Vocal Segundo	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
Vocal Tercero	Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
Vocal Cuarto	Br. Ind. Milton Juan José Caná Aguilar
Vocal Quinto	P. Agr. Cristian Alexander Méndez López
Secretario	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, abril 2017

Guatemala, abril de 2017

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguidos miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado:

SELECCIÓN DE CULTIVARES PROMISORIOS DE CAFÉ *Coffea arabica* L. BASADO EN RESISTENCIA A ROYA DEL CAFÉ *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *in vitro* Y EN CONDICIONES DE CAMPO EN ZONAS CAFETALERAS DE GUATEMALA C.A.

Presentado como requisito previo a optar al Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente trabajo merezca su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente,

Myriam Consuelo Escobar Molina

ACTO QUE DEDICO

A:

Dios: Todopoderoso, gracias por la vida y la oportunidad

Mis padres: Por su apoyo y cariño incondicional

Mis hermanos: Por su apoyo, amistad, cariño y comprensión

Mi familia: Abuelos, tíos, primos y demás familia por su aprecio.

Mis amigos: Por su confianza y apoyo

AGRADECIMIENTOS

A Dios Señor y dador de vida, por fortalecerme en los momentos más
difíciles de mi carrera y llenarme de bendiciones, a ti toda la
Gloria.

A mis padres: María Elena Molina y German Escobar Cano, por apoyarme en mi formación profesional, por creer y apoyarme siempre. Por compartir la búsqueda del conocimiento. Los quiero

A mis hermanos Alex Escobar y German Escobar, Por ser un pilar importante en mi formación, por ayudarme siempre, un abrazo.

A mis amigos Gladys Arévalo, Erwin Apén, Herbert Chinchilla, Mario Raúl Sologaistoa, Oscar Rucal, Stevens Surec, Alejandro Gonzales Montes, por ser un grupo importante en mi vida.

A mi Asesor Dr. Edin Francisco Orozco Miranda, por el apoyo y aportar sus conocimientos y tiempo.

A Dr. Gladyston Carvalho y Dr. Gustavo Sera por la colaboración en la presente investigación

Dr. Casanoves por la ayuda brindada en el análisis de datos.

Dr. María Antonieta Alfaro, por la paciencia y apoyo incondicional.

Ing. Agr. Rebeca Soto, por los consejos y los ánimos en la realización de la investigación.

Ing. Federico Saquimux, por el apoyo.

Gonzalo López, por su apoyo incondicional, un abrazo.

	ÍNDICE DE CONTENIDO	Página
1	INTRODUCCIÓN	2
2	MARCO TEÓRICO.....	3
2.1	MARCO CONCEPTUAL.....	3
2.1.1	Inicio del café en Guatemala	3
2.1.2	Importancia económica	3
2.1.3	Botánica y taxonomía del café.....	4
2.1.4	Especies y variedades de café cultivada en Guatemala	5
2.1.5	Principales plagas y enfermedades del café.....	7
2.1.6	Daño ocasionado por la roya en Guatemala.....	11
2.1.7	Resistencia de las plantas a enfermedades	11
2.1.8	Resistencia de cultivares de café a <i>H. vastatrix</i> en Guatemala.....	12
2.1.9	Instituciones dedicadas al desarrollo de cultivares de café en Brasil	13
2.1.10	Metodología de inoculación de discos de hoja desarrollada por Eskes (1983).....	13
2.1.11	Modelo lineal generalizado Bernoulli con función de enlace canónico Log.	14
2.1.12	Cultivares evaluados	14
2.2	MARCO REFERENCIAL	18
2.2.1	Fuentes de resistentes a <i>H. vastatrix</i>	18
2.2.2	Instituciones dedicadas al desarrollo de cultivares de café en Guatemala.....	21
2.2.3	Estudios relacionados a caracterización y selección de cultivares de café en Guatemala	21
2.2.4	Estudios que involucran la utilización del método de inoculación de esporas de <i>H. vastatrix</i> en discos de hoja de café	21
2.2.5	Áreas de evaluación de los cultivares.....	22
3	OBJETIVOS	23
3.1	Objetivo general	23
3.2	Objetivos específicos.....	23
4	HIPÓTESIS	23

5	METODOLOGÍA	24
5.1	Evaluación de resistencia de cultivares de café a <i>Hemileia vastatrix</i> mediante el método de inoculación de uredosporas en discos de hoja de café	24
5.1.1	Preparación de suspensión de uredosporas de <i>H. vastatrix</i>	24
5.1.2	Preparación de discos de hoja de cultivares de café.....	26
5.1.3	Inoculación de discos de hoja con uredosporas de <i>Hemileia vastatrix</i> y monitoreo de microambiente de cámara húmeda	28
5.1.4	Cuantificación de roya del café en discos inoculados	28
5.1.5	Unidad experimental y repeticiones	29
5.1.6	Variables evaluadas.....	29
5.1.7	Análisis de información	29
5.2	Evaluación de resistencia de cultivares de café a <i>Hemileia vastatrix</i> mediante el método de cuantificación de la enfermedad en plantas de café en campo	30
5.2.1	Variables evaluadas y cuantificación de roya del café	30
5.2.2	Toma de datos	31
5.2.3	Análisis de información	32
5.3	Comparación de métodos: Inoculación de discos de hoja y cuantificación de la enfermedad en plantas de café (campo).....	32
6	RESULTADOS	33
6.1	Evaluación de resistencia de cultivares de café a <i>Hemileia vastatrix</i> mediante el método de inoculación de esporas del hongo en discos de hoja de café en laboratorio.....	33
6.2	Severidad de roya del café en discos de café y clasificación de la resistencia de los cultivares basado en análisis multivariado	35
6.3	Resultados de la evaluación de resistencia de cultivares de café a <i>Hemileia vastatrix</i> en ensayos de campo	44
6.4	Comparación de los resultados de los métodos de inoculación de discos de hoja y cuantificación de la enfermedad en plantas de café en campo.....	47

	Página
7 CONCLUSIONES.....	49
8 RECOMENDACIONES	50
9 BIBLIOGRAFÍA	51

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Valor de las exportaciones de café en período 2009-2014 en millones de dólares.	4
Cuadro 2. Listado de cultivares de café evaluados en laboratorio.	20
Cuadro 3. Descripción de condiciones meteorológicas predominantes en las áreas de evaluación de los cultivares de café en campo.	22
Cuadro 4. Resumen de la evaluación de resistencia de cultivares de café a la inoculación de esporas del hongo <i>Hemileia vastatrix</i> en discos de hojas. Cuantificación de periodo de incubación y latencia bajo condiciones de cámara húmeda, en laboratorio. Guatemala, 2016	34
Cuadro 5. Tabla de contingencia obtenida a partir de la frecuencia absoluta de severidad, cuantifica a través del tiempo a partir de inoculación de esporas en discos de cultivares de café, en columna; severidad y filas los cultivares	36
Cuadro 6. Valores de probabilidad obtenidos a partir de la tabla de contingencia para la prueba de asociación de frecuencias de escalas de severidad y cultivares evaluados.	37
Cuadro 7. Grupos de cultivares clasificados en base a la prueba múltiple de medias, DGC. INC - Medias ajustadas y errores estándares para cultivares, inversa de la función de enlace con efecto aleatorio=0, DGC (Alfa=0.05).	41
Cuadro 8. Intensidad de roya de café evaluadas en cultivares de café de dos años, en tres localidades de Guatemala en condiciones de campo con manejo de agricultores, 2015-2016.	46

Cuadro 9. Comparación de la resistencia de cultivares de café a <i>Hemileia vastatrix</i> , en campo y en discos de hoja de café inoculados con uredosporas en cámara húmeda en laboratorio, 2015-2016.	48
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características principales de las variedades de café comerciales en Guatemala.	Página 7
Figura 2. Ciclo de desarrollo del hongo <i>Hemileia vastatrix</i> . (A) Teliospora diploide; (B) basidio y basidiocarpo; (C) picnidio; (D) Fase Ecial; (E) uredosporas; (F) Telio.	9
Figura 3. Descripción de los cultivares provenientes de Consorcio de Investigación de Café, Brasil mediante la metodología de Inoculación de discos de Hoja, propuesta por Eskes, 1983.	17
Figura 4. Fotografías de preparación de suspensión de uredosporas de <i>Hemileia vastatrix</i> , a) colecta y transporte de hojas con uredosporas, b) selección de esporas sin contaminantes, c) colecta de esporas utilizando un pincel, d) espора germinada, resultado de la prueba de germinación realizada previo a la preparación de la suspensión.	25
Figura 5. Fotografías del proceso de elaboración de discos de hoja, a) colecta de cultivares de café, b) selección de hojas para realizar discos, c) corte de discos de hoja (laboratorio), d) proceso de desinfestación (compuesto por agua, alcohol 70 %, agua, hipoclorito de sodio y agua). e) Inoculación de discos de hoja de café con solución de esporas. f) síntomas y signos observados.	27
Figura 6. Clave descriptiva utilizada para la cuantificación de roya del café.	28
Figura 7. Escalas de severidad utilizadas para la cuantificación de severidad de <i>Hemileia vastatrix</i> en campo.	31
Figura 8. Escala diagramática elaborada a partir de valores de enfermedad observados después de la inoculación de uredosporas de <i>Hemileia vastatrix</i> en discos de hoja de cultivares de café.	35

- Figura 9. Diagrama Biplot a partir de análisis de correspondencias simples para visualizar y determinar la asociación entre la severidad y los cultivares evaluados, en la determinación de la resistencia a *Hemileia vastatrix*.
Círculos rojos = clase de severidad, 0-5; Azul = cultivar..... 40
- Figura 10. Curvas de progreso de roya en la evaluación de resistencia de cultivares de café en cámara húmeda. Valores corresponden a clases de severidad de clave descriptiva de Eskes (1983) modificada. A) susceptible, clase 5; B) susceptibles, clase máxima 3.67; C) susceptibles, clase máxima 3; D) resistencia parcial, clase máxima 1; E) resistencia parcial, clase 1.33 y F) resistentes. Guatemala, 2016 43

ACRÓNIMOS

CIFC: Centro de Investigación de la roya del cafeto

CNPq: Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico

EBDA: Bahía desarrollo Agrícola

EMBRAPA: Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria

EPAMIG: Empresa de Investigación Agropecuaria de Minas Gerais

FAUSAC: Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

FAPEMIG: Fundación de Amparo e Investigación de Estado de Minas Gerais

FODECYT: Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología

IAC: Instituto Agronómico de Campinas

IAPAR: Instituto Agronómico de Paraná

IBC: Instituto Brasileño del Café

INCAPER: Instituto Capixaba de Investigación, Asistencia Técnica y Extensión Rural

IPGRI: Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos

MAPA: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento

MG: Minas Gerais

Pesagro-Río: Compañía de Investigación Agrícola del Estado de Río de Janeiro

UFLA: Universidad Federal de Lavras

UFV: Universidad Federal de Viçosa

USAC: Universidad de San Carlos de Guatemala

SELECCIÓN DE CULTIVARES PROMISORIOS DE CAFÉ *Coffea arabica* L. BASADO EN RESISTENCIA A ROYA DEL CAFÉ *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *in vitro* Y EN CONDICIONES DE CAMPO EN ZONAS CAFETALERAS DE GUATEMALA C.A.

SELECTION OF PROMISING COFFEE CULTIVARS *Coffea arabica* L. BASED ON *in vitro* COFFEE RUST RESISTANCE *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. AND IN FIELD CONDITIONS IN COFFEE-GROWING AREAS OF GUATEMALA, CENTRAL AMERICA.

RESUMEN

El cultivo del café *Coffea arabica* L. constituye una actividad económica importante en Guatemala, por la generación de divisas y empleo. Sin embargo, la roya del café ocasionada por *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., causó pérdidas entre 10 % y 40 %, durante el periodo 2010 - 2014 (Silva, et al., 2006) y fue catalogada como epidemia durante esa época. Como alternativa en el manejo integrado de la roya, se recomienda cultivares de café con resistencia genética.

En Guatemala no se realiza mejoramiento orientado a resistencia de enfermedades en café y se hace la introducción y adaptación de cultivares. Esta investigación fue parte del proyecto FODECYT 30-2013, de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El objetivo fue evaluar la resistencia a roya partir de la inoculación de uredosporas de *H. vastatrix* en discos de hoja de café en cámara húmeda en laboratorio. En campo, se estudió la intensidad de roya en tres localidades: Suchitepéquez, ciudad de Guatemala y Sololá a 714 m, 1500 m y 1640 m de altitud, respectivamente. Se incluyeron 27 cultivares de café provenientes de Brasil del Consorcio de Investigación de Café y del IAPAR (Instituto Agrônômico do Paraná). La selección de cultivares resistentes, se fundamentó en técnicas de análisis multivariado y prueba DGC para el agrupamiento. Por medio del método de discos de hoja de café en cámara húmeda, se determinó como cultivares resistentes: IAPAR 107, IAPAR 103, IAPAR 100, 24ca, IAPAR 59, H29-1-3-1-2-5-5, H32- 11 17-4-5-4, Catucaí Amarelo 2SL, 18p, Pau Brasil, Acaíá 474-19, Araponga, Oeiras, Sacramento, Paraíso MGH 419-1 y Catiguá MG2 y a nivel de campo: Catimor, (testigo resistente), IAPAR 59, IAPAR 100, IAPAR103, IAPAR 107, H32 11 17-4-5-4, Sacramento, Catiguá MG2, Paraíso MG2, Oeiras, Pau Brasil, 24ca, Aranãs y 18p. Los dos métodos utilizados en la evaluación de la resistencia a roya del café fueron análogos. Se determinó 85 % de correspondencia en los resultados entre ambos métodos.

Se recomendó dar seguimiento a la caracterización de los cultivares de café resistentes, seleccionados y evaluarlos en parcelas semi comerciales para recomendarlos de manera local a los agricultores basados en su rendimiento y calidad de taza. Implementar a nivel de laboratorio el método de evaluación de resistencia de cultivares de café en discos de hoja de café, como método de selección para planificar la evaluación de campo.

1 INTRODUCCIÓN

El café es producto de exportación de Guatemala y rubro importante en la economía. Se estima área de cultivo aproximado de 305,000 ha e involucra alrededor de 125,000 caficultores. La principal especie cultivada es *Coffea arabica* y catalogada de alta calidad en el mercado internacional. La roya del café es causada por *Hemileia vastatrix*. Durante 2010-2014, fue catalogada como epidemia en Centro América, México y El Caribe, la intensidad de enfermedad fue alta, causó pánico y alarma entre los caficultores. Las pérdidas fueron variables y no bien cuantificadas. Según datos de pronóstico de cosecha durante esa época en Guatemala, hubo pérdidas alrededor del 40 %, aunado a la falta de fuentes de trabajo en el campo y caída de divisas. Las principales variedades de café en esa época, en su mayoría eran susceptibles al hongo y fue la principal limitante en la producción de café. El manejo de la enfermedad durante el brote epidémico fue químico, no obstante, el uso excesivo de fungicidas a largo plazo puede generar problema de resistencia en el hongo. El control genético por medio de variedades de café resistentes a roya, es una opción viable de implementar. En Guatemala no se realiza fitomejoramiento en este cultivo orientado a enfermedades. Por ello, se introducen, evalúan y adaptan cultivares generados en otros países. Esto requiere de estudios previos para ser recomendados a los caficultores y evitar nuevos problemas.

El establecimiento de cultivares en campo sin método de preselección, requiere mayor tiempo. En caso de café y enfermedades se pueden hacer evaluaciones en laboratorio. La metodología de inoculación de uredosporas de *H. vastatrix* en discos de hoja de café permite la evaluación de resistencia en cultivares y da criterios de selección previa al establecimiento en campo. Como parte del proyecto FODECYT 30-2013, se evaluaron 27 cultivares de café provenientes de Brasil en laboratorio con el método de discos de hoja y en campo, en tres localidades. Se utilizaron como testigos las variedades Caturra (susceptible) y Catimor (resistente). Se cuantificó incidencia y severidad de la enfermedad. El análisis de la información fue multivariado y con prueba múltiple de medias DGC. Con el método de discos de café en laboratorio, los cultivares resistentes fueron: IAPAR 107, IAPAR 103, IAPAR 100, IAPAR 59, H29-1-3-1-2-5-5, H32-11-17-4-5-4, Catucaí Amarelo 2SL, 24ca, 18p, Pau Brasil, Acaiá 474-19, Araponga, Oeiras, Sacramento, Paraíso MGH 419-1 y Catiguá MG2. En el campo los resistentes fueron: Catimor, IAPAR 59, IAPAR 100, IAPAR103, IAPAR 107, H32-11-17-4-5-4, Sacramento, Catiguá MG2, Paraíso MG2, Oeiras, Pau Brasil, 24ca, Aranãs y 18p. Los dos métodos usados fueron análogos y se determinó 85 % de correspondencia en los resultados.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

2.1.1 Inicio del café en Guatemala

El cafeto (*Coffea arabica*) es originario de Etiopia. la primera planta de café fue introducida a Guatemala por los Jesuitas, a mediados del siglo XVII, en el periodo del Rey Carlos III. Fue utilizado como ornamental en la Antigua Guatemala, se propagó a principios del siglo XIX. Fue plantado en diferentes regiones, como: Guatemala, Villa Nueva, Petapa, Amatitlán, Santa Rosa y Jutiapa. Posterior a la Independencia, se iniciaron incentivos en el gobierno de Mariano Gálvez, para la siembra del café, cultivándose en Villa Nueva, Antigua Guatemala, San Martín Jilotepeque, San Jerónimo, Cobán, Capital de Guatemala, Escuintla, Zacapa (Wagner, 2001).

2.1.2 Importancia económica

2.1.2.1 Superficie total del cultivo y número de productores

En Guatemala se cultivan 276,000 ha con café, las cuales se distribuyen en 204 municipios, alrededor del 60 % de las plantaciones tiene más de 15 años. (MAGA, 2013). Existe alrededor de 90,000 productores, Las regiones que más productores tienen son: región IV (19,299 productores) región VI (16,707 productores). La menor cantidad de productores se localiza en la región VII (5,796 productores) (MAGA, 2013).

2.1.2.2 Producción, Rendimiento y Exportación

Se estima un consumo local de 400,000 quintales, más del 90 % de la producción se exporta a diferentes destinos, El rendimiento de producción promedio oscila entre 11.4 y

37.8 quintales oro/ha. (MAGA,2013). La exportación reportada por el banco de Guatemala, decrece a partir del año 2012 hasta el 2014 como se puede observar en el cuadro 1

Cuadro 1. Valor de las exportaciones de café en período 2009-2014 en millones de dólares.

Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Exportación de Café	582.3	713.9	1,174.2	958.1	714.5	667.0

Fuente: Banco de Guatemala, 2015

2.1.3 Botánica y taxonomía del café

2.1.3.1 Botánica

Raíz: órgano encargado de proporcionar agua y nutrientes a la planta además de dar soporte al sistema aéreo, contiene al menos 30 % del genoma de las plantas vasculares, la planta de café presenta raíz primaria que penetra el suelo dando origen a las secundarias, las cuales se encargan de absorber agua y nutrientes (Flores, 1999).

Tallo y hojas: constituyen el sistema aéreo de la planta, presentan yemas con meristemas que dan origen a nuevos tallos, hojas e inflorescencias. La función principal de las hojas es la producción alimento y hormonas que favorecen el crecimiento y desarrollo de la planta. (Flores, 1999).

Flor: son descritas por Sánchez, 1990; Jones, 1987 citados por Soto (2012). como hermafroditas, actinomorfas, distribuidas en forma axilar en las ramas laterales a nivel de la base de las hojas en cada nudo, en variedades altamente productivas pueden encontrarse de 40 a 45 flores por nudo que presentan alto porcentaje de autofecundación.

Fruto y semilla: fruto es una drupa, cápsula o baya, alcanza su madurez fisiológica caracterizado por el color de la cáscara, después de 8 a 9 meses de la floración y está listo para corte (ANACAFE, 2006). La semilla está formada por el endospermo de consistencia dura y color verdoso. (Flores, 1999) El embrión se localiza dentro de la semilla rodeado por una película. Para el desarrollo del embrión es necesaria la madurez de la semilla, condiciones favorables de humedad y temperatura (ANACAFE, 2006).

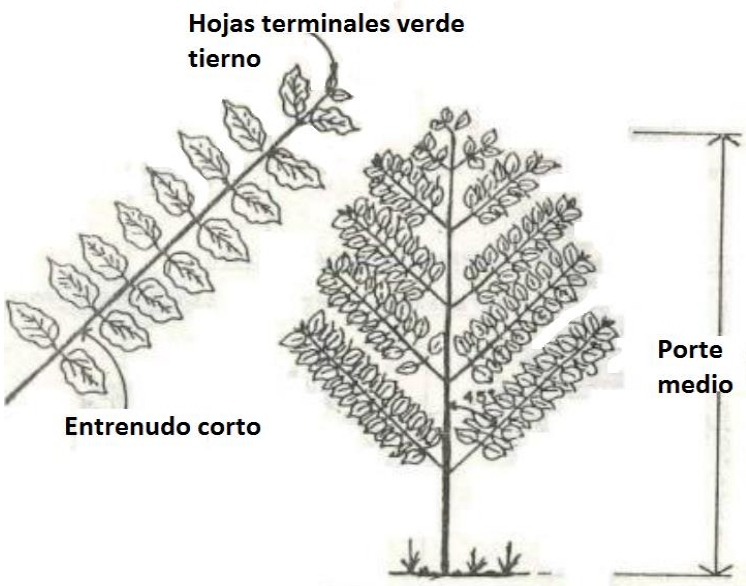
2.1.3.2 Taxonomía del café

La clasificación taxonómica de la planta del café *Coffea arabica* L. descrita por Alvarado, 1994. Citado por Mora (2008) es:

Reino: Plantae
 División: Magnoliophyta
 Orden: Rubiales
 Familia: Rubiaceae
 Género: *Coffea*
 Especie: *C. arabica*

2.1.4 Especies y variedades de café cultivada en Guatemala

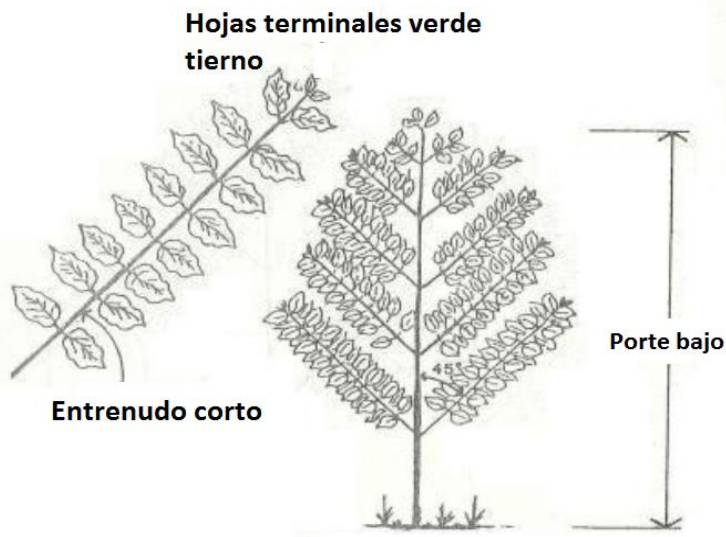
En Guatemala se cultivan variedades de la especie *Coffea arabica*. Es la más difundida en el mundo con 70 % - 75 % de la producción mundial. Otra especie es *Coffea canephora*, la variedad más importante es Robusta. (ANACAFE, 2006) Las variedades de café más cultivadas en Guatemala. En la figura 1 Se describen sus principales características:

Características	
Catuai	
<p>Origen: Brasil, cruce de Mundo Novo por Caturra</p> <p>Características: Porte medio (2.25 m), ramas forman ángulo de 45 grados con el eje principal, excelente producción, resistente al viento.</p> <p>Adaptación en altitud de 609 msnm a 1,371 msnm en la Boca Costa; de 1,067 msnm a 1,674.4 msnm (ANACAFE, 2006).</p>	

Caturra

Origen: Brasil. Mutación de Borbón.

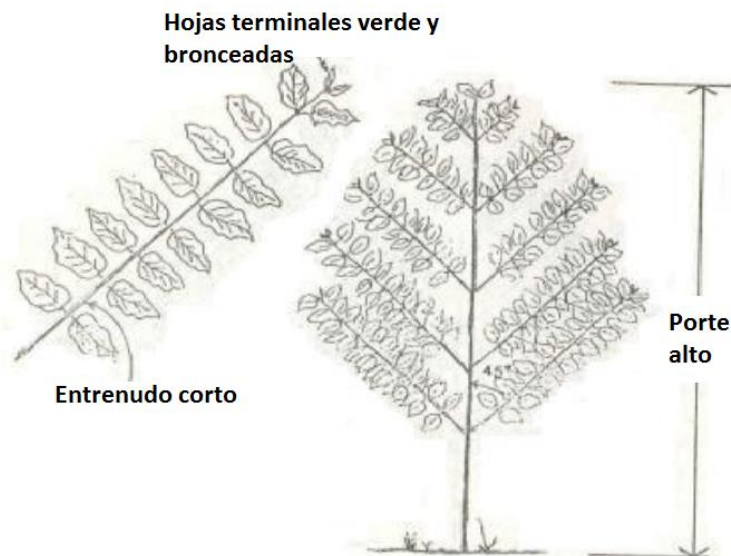
Características: porte bajo, compacto (1.8 m), ramas forman ángulo de 45 grados con el eje principal. Hojas redondeadas y brillantes, entrenudo corto, excelente productor, resistente al viento.

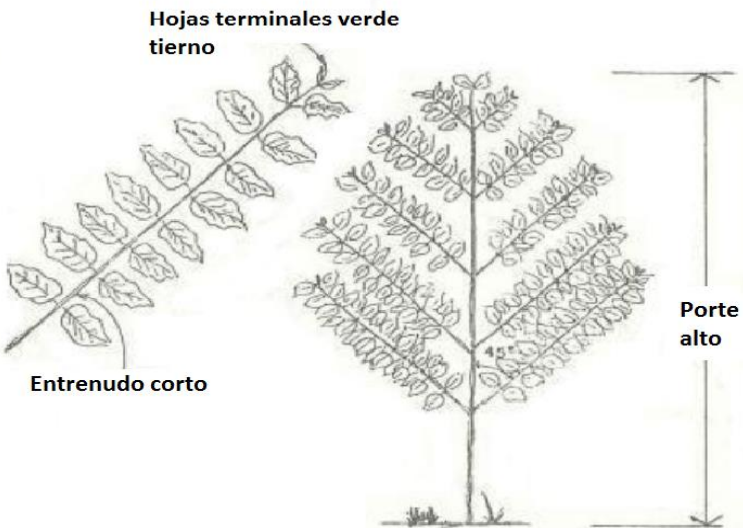


Mundo Novo

Origen: Brasil, cruce de Sumatra (Típica) por Borbón.

Características: porte alto (3.0 m), ramas forman un ángulo de 45 grados con el eje principal, entrenudos cortos, muy productivo, poco resistente al viento, hojas terminales color bronce.



Borbón	
<p>Origen: isla de Bourbon, variedad de café arábica</p> <p>Características: porte alto (3.0 m), ramas forman ángulo de 45 grados con el eje principal, producción alta, poco resistente al viento, producción 20 % - 30 % mayor que Típica,</p> <p>Adaptación: altitud hasta 1676 metros. (ANACAFE, 2006)</p>	
Catimor	
<p>Origen: cruce entre <i>Timor</i> (resistente a la roya) y <i>Caturra</i>.</p> <p>Características: precoces y productivos con rendimientos superiores a otras variedades comerciales.</p> <p>Adaptación: muy bien a regiones bajas y medias, en 610 m a 915 m de altitud, lluvias superiores a los 3,000 mm anuales. (ANACAFE, 2006)</p>	

Fuente: García, 2016

Figura 1. Características principales de las variedades de café comerciales en Guatemala.

2.1.5 Principales plagas y enfermedades del café

Entre las plagas que generan un impacto económico en el cultivo del café se encuentra: la broca, *Hypothenemus hampei*; el minador de la hoja, *Leucoptera coffeellum*, y la palomilla de las raíces, *Dysmicoccus* spp. Entre las enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y nematodos. Se citan: roya del café causado por *Hemileia vastatrix*; las llagas del tallo y de las raíces, *Ceratocystis fimbriata* y *Rosellinia bunodes*; la mancha de hierro, *Cercospora coffeicola*; el mal rosado, *Corticium salmonicolor*; muerte descendente, *Phoma* spp. Y nematodos del género *Meloidogyne*. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2010)

2.1.5.1 Roya del café

A. Agente etiológico

El agente causal es *Hemileia vastatrix*, es un hongo parásito obligado que sobrevive en tejido vivo del hospedante, las uredosporas pueden sobrevivir hasta por 6 semanas bajo condiciones ambientales secas. No se han reportado hospedantes alternos y no sobrevive e restos del cultivo. Su forma de dispersión es por medio de uredosporas.

B. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del hongo *Hemileia vastatrix* descrita por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Social Física y Alimentación- SAGARPA (2013) es:

Dominio: Eukaryota
Reino: Fungi
Phylum: Basidiomycota
Subphylum: Pucciniomycotina
Clase: Pucciniomycetes
Orden: Uredinales
Género: *Hemileia*
Especie: *H. vastatrix*

C. Ciclo de vida del *H. vastatrix*

El ciclo de vida del hongo causante de la roya del café se divide en cuatro eventos:

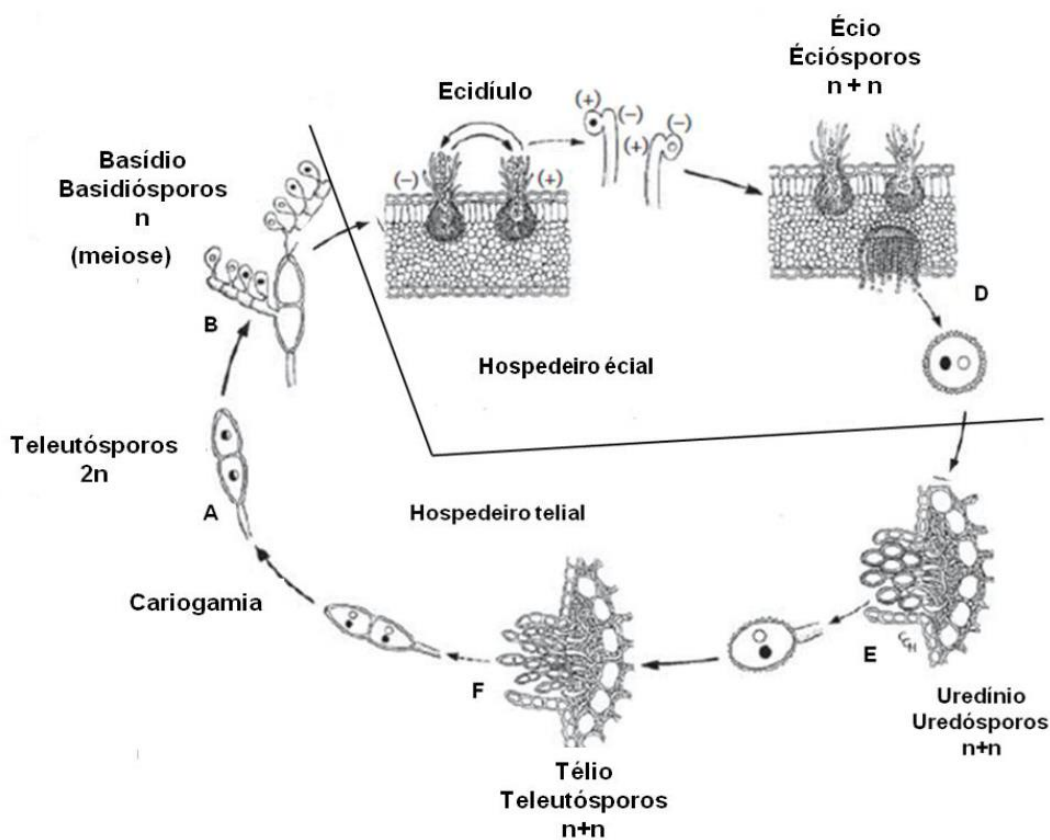
Etapas de diseminación: se realiza por medio de uredosporas son de un color amarillo o naranja en encuentran en el envés de las hojas.

Etapas de germinación: la uredospora en el envés de la hoja emite de uno a cuatro tubos germinativos, en un periodo de 6 a 12 h, para esta etapa el hongo requiere de una capa de

agua, condiciones de poca luminosidad y temperaturas inferiores a 28 °C y superiores a 16 °C. El tubo germinativo crece hasta encontrar las estomas (ver figura 2).

Etapa de colonización: el hongo en el interior de la hoja desarrolla haustorios, los cuales se encargan de extraer los nutrientes para su crecimiento, provocando zonas cloróticas en la hoja.

Etapa de reproducción: Transcurridos 30 días de la colonización el hongo se encuentra suficiente maduro para diferenciarse soros que son estructuras encargadas de producir nuevas uredosporas, por un período de 4 a 5 meses (Cenicafé, 2011).



Fuente: Adaptado por Braz, 2012 de Kolmer et al., 2009.

Figura 2. Ciclo de desarrollo del hongo *Hemileia vastatrix*. (A) Teliospora diploide; (B) basidio y basidiocarpio; (C) picnidio; (D) Fase Ecial; (E) uredosporas; (F) Telio.

D. Diversidad genética y razas de roya

Existen variantes del hongo *Hemileia vastatrix* las cuales son denominadas razas fisiológicas. Desde la detección de la roya en el año 1980, la raza II es la más difundida mundialmente y está presente en todos los países latinoamericanos (Cenicafé, 2011).

2.1.5.2 Desarrollo de la epidemia de la roya

La roya del café se encuentra distribuida en todas las regiones cafetaleras de Guatemala, se presenta cuando existen las siguientes condiciones:

La variedad cultivada presenta ausencia de resistencia genética, limitado desarrollo de raíces por textura del suelo o ataque de nematodos. Presencia del patógeno, condiciones meteorológicas adecuadas como bajo brillo solar y temperaturas entre 16 °C - 28 °C, humedad relativa por encima de 85 %, salpicadura de agua para su dispersión, presencia de una capa de agua en el envés de las hojas para germinar y el manejo inapropiado del cultivo (Cenicafé, 2011).

La roya es considerada epidemia porque presenta esparcimiento rápido y alta frecuencia dentro de las zonas cafetaleras. Presenta una curva de crecimiento dividida por tres fases: *lenta* caracterizada por la infección de pocas hojas, se pueden observar síntomas hasta después del periodo de incubación, Síntomas visibles en menos de 10 % de hojas. *Rápida* o explosiva: cantidad de inoculo dispersándose, durante 2 a 3 semanas la enfermedad puede estar presente en 30 % de hojas. *Terminal o máxima*: defoliación de plantas, la enfermedad lleva al máximo agotamiento a su hospedero y termina la epidemia (Cenicafé, 2011).

2.1.5.3 Efecto de la roya sobre la cosecha

En un año considerado de epidemia severa (tasa de progreso de enfermedad > 0,19 %) existe una relación directa entre la infección ocurrida durante el periodo de llenado de frutos y la disminución de producción, comprometiendo la cosecha del año siguiente (Cenicafé, 2011).

2.1.6 Daño ocasionado por la roya en Guatemala

La roya del café se extiende a lo largo de los países productores de café y puede causar hasta un 10 % - 40 % de las pérdidas. (Silva, et al., 2006). El hongo de la roya ha afectado el 49 % del área cultivada de café en Centroamérica. En Guatemala la enfermedad ha afectado un 59 % de las fincas cafetaleras del país lo cual equivale a 163,041 ha (ANACAFÉ, 2013).

2.1.7 Resistencia de las plantas a enfermedades

Silva et al. (2006) citan a Heath 1997a, Mansfield et al., 1997 & Staskawicz, 2001. E indican que la resistencia se conoce como la capacidad que tienen las plantas de identificar potenciales patógenos dañinos, provocando que estas produzcan un mecanismo de defensa, con el fin de evitar que se produzca un daño. Existe resistencia basada en el modo de herencia, el efecto de los genes, especificidad del hospedante, estados de crecimiento de la planta hospedante, términos epidemiológicos, y durabilidad (Hernández, 2010).

La resistencia de las plantas a las enfermedades frecuentemente resulta de la interacción específica de genes de resistencia de las plantas con los correspondientes genes de avirulencia de los patógenos (García & Lozoya, 2004).

2.1.7.1 Tipos de resistencia

La resistencia se encuentra determinada por la cantidad de genes que la genera, estas se encuentran clasificadas como: Cualitativa la cual es controlada por uno o pocos genes también se le conoce como resistencia vertical y Cuantitativa: presenta variación continua de la resistencia existen muchos Loci involucrados también conocida como horizontal (Facultad de Ciencias Agropecuaria-FCA, s.f.).

2.1.8 Resistencia de cultivares de café a *H. vastatrix* en Guatemala

En Guatemala se cultivan variedades como Caturra, Catuaí, Borbón, Mundo Novo entre otras, las cuales son susceptibles a la roya del cafeto. ANACAFÉ (2016), impulsa variedades derivadas del Híbrido Timor, las cual presenta resistencia al ataque de *H. vastatrix*. Existen tres grupos creados a partir de cruzamientos de tres diferentes cafetos del Híbrido de Timor (resistentes a la roya), con variedades susceptibles de porte bajo (Caturra, Villa Sarchí y Caturra Amarillo) (Anzueto, 2013).

El resultado de los cruces Timor*Caturra=**Catimor**, Timor*Villa Sarchi=**Sarchimor** y Timor*Caturra amarillo=**Columbia**. Se ha realizado evaluaciones de los derivados de estos cultivares y han tenido un resultado vigoroso y productivo, existen otras variedades como Icatú y Catucaí, que presentan resistencia, pero actualmente no se cultivan en grandes extensiones por la calidad de tasa que presentan la cual es menor a las variedades tradicionales como: Borbón, caturra y Catuaí debido a que presenten una calidad de taza alta, la cual complace a los gustos más exigentes de los mercados internacionales (ANACAFÉ, 2016).

2.1.9 Instituciones dedicadas al desarrollo de cultivares de café en Brasil

En Brasil existe El Consorcio Brasileño de Investigación y Desarrollo del Café que fue creado por: EMBRAPA, EBDA, EPAMIG, IAC, IAPAR, INCAPER, MAPA, Pesagro-Río, UFLA y UFV (Consórcio Café Pesquisa , 2011).

Para coordinar el Consorcio de Investigación del Café, EMBRAPA se estableció en 1999, con el objetivo principal de llevar a cabo, promover y apoyar las actividades de investigación y desarrollo de café dentro de la Sociedad y de las instituciones y los socios del Consorcio. Tiene el propósito de formular, proponer, coordinar y orientar la estrategia y la generación de acciones, transferencia de tecnología de desarrollo y de café, así como promover y apoyar la investigación y el desarrollo y la innovación (Consórcio Café Pesquisa , 2011). Se ha generado un aproximado de 42 cultivares de café entre las cuales podemos destacar Araponga MG1, Catiguá MG2, Paraíso MGH 419-, Paraíso MG2, PAU-BRASIL MG 1, SACRAMENTO MG 1, que son considerados resistentes o inmunes a la roya del café, provocada por *H. vastatrix* (Consórcio Pesquisa Café , 2011).

2.1.10 Metodología de inoculación de discos de hoja desarrollada por Eskes (1983)

La metodología desarrollada por Eskes se basa en la inoculación de uredosporas de *H. vastatrix* en discos de hoja de café debido a que este hongo se debe inocular en células viva. Dicha metodología, consiste en los siguientes en:

Tomar aleatorias de hojas obtenidas de plantas de café en el campo, vivero o invernadero, sanas, evitar el uso de las hojas viejas y con presencia de daño. Las hojas se deben coleccionar por la mañana, cortan discos de las hojas con un perforador de 1,8 cm de diámetro primera, manteniéndolos en cámara húmeda, se realiza la inoculación con una suspensión de uredosporas en agua destilada, se coloca en cada disco alrededor de 0.025 ml de suspensión.

Después de la inoculación, se colocan los discos en la oscuridad a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 20 horas. La cámara húmeda se coloca bajo condiciones de luz moderados a diario un período oscuro 12 horas (Eskes, 1983).

2.1.11 Modelo lineal generalizado Bernoulli con función de enlace canónico Log.

La distribución de Bernoulli permite conocer la existencia de probabilidad de éxito o fracaso con base a sucesos (Universidad Autonoma de Madrid-UAM-, s.f.), para este estudio la medición de clase de severidad. La correlación canónica permite la valoración de la relación entre variables predictoras métrica (independientes) y múltiples medidas dependientes (Badii, Castillo, Cortez, Wong, & Villalpando, 2007). Una variable predictora es definida por Oliver, Rosel, & Jara (2000) como: “ *($X_i - \bar{X}$) expresada como desviaciones respecto de su media, en lugar de mantener la métrica original. Y múltiples medias dependientes*” Este modelo propone que el logaritmo de la posibilidad, entendida como el cociente entre la probabilidad de éxito y la de fracaso en un ensayo Bernoulli, es igual a una función lineal en los parámetros, denominados usualmente como predictora lineal, estimando la significancia estadística de los factores, frente a una respuesta observada. (Ponsot Balaguer, Sinka, & Gotia, 2009).

2.1.12 Cultivares evaluados

Los cultivares de café evaluados son provenientes del Consorcio de Investigación de Café en Brasil. En donde son considerados promisorios debido a la fuente de resistencia a roya del café que provienen principalmente de Timor, Icatú y germoplasma originado por cruces complejo con múltiples fuentes de resistencia (ver figura 3).

Cultivar	Origen	Características
Instituto Agronômico IAC		
Acaiá 474-19	Derivada de selección de cultivares individuales "Nuevo Mundo", El nombre Acaiá, en tupí-guaraní significa frutas con semillas grandes, progenie P 474 'Nuevo Mundo'.	Buena producción, altura media de plantas adultas 4.2 m, diámetro promedio de la copa 1.8 m, calidad de bebida muy buena.
Catuaí Amarelo 62 & Catuaí Amarelo 17	Obtenido mediante el cruce de 'cacatúa Amarillo', IAC 476-11 prefijos ' Mundo Novo' IAC 374-19. El híbrido resultante recibió el prefijo IAC H2077. En la población F (IAC H2077-2-5).	Plantas vigorosas, altura media de 2.0 m, diámetro 2.0 m. Sistema de radicular fuerte, profundidad mayor 2.0 m, hojas nuevas verde brillante. Fruto oblongo y amarillo. Vigor y productividad alta, calidad de taza buena.
Catuaí Vermelho 144 & Catuaí Vermelho 99	Producto recombinante a partir de un cruce artificial la cacatúa amarillo, IAC 476-11 y Mundo Novo IAC 374-19, <i>C. arabica</i> .	Altura de la planta maxima 2.4 m, diámetro medio y dosel de 1.7 m a 2.1 m, vigor y productividad alta. Calidad de la bebida excelente, fruto oblongo, rojo,.
Mundo Novo 376-4	Recombinación resultante de cruce natural entre cultivares de Sumatra y Bourbon rojo.	Alta producción, aspecto vegetativo óptimo, Sistema radicular bien desarrollado, hojas nuevas verde claro o bronce, calidad de taza excelente, fruto oblongo y rojo.
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais- EPAMIG		
Acaiá Cerrado	Pertenece al grupo Acaiá desarrollado originalmente por el IAC. Se deriva de Acaiá IAC 474-1.	Tamaño alto, fruto rojo, forma de semilla grande, plana, alta producción, excelente vigor vegetativo, frondosidad todo el año.
Araponga MG1	Hibridación artificial entre Catuaí Amarillo IAC 86 y selección de Timor híbrido UFV 446-08, llevado a cabo por EPAMIG / UFV, en el campus de la Universidad Federal de Viçosa, en Viçosa, MG.	Alto vigor vegetativo, buena arquitectura de las plantas, alto rendimiento. La calidad de la bebida es similar a los cultivares comerciales Catuaí y Mundo Novo.
Catiguá MG2	Las progenies de plantas 514-7-14-2 H y H 514-7-16-3 en la generación F dan lugar a los cultivares Catiguá MG1 y Catiguá MG2.	Ramificación secundaria abundante, hojas nuevas bronce y verde, El fruto grande, oblongo y rojo. Vigor y productividad alta y calidad de bebida buena.

OEIRAS MG 6851	Resultado de esfuerzo entre la UFV y EPAMIG. desarrollado por el método genealógico del híbrido CIFC HW 26/5, como resultado de un cruce entre 'Caturra Vermelho' (CIFC 19/1) y 'Híbrido de Timor' (CIFC 832/1), Pertenece a germoplasma Catimor.	Brotes bronce, fruto rojo, semilla grande y ligeramente alargada, maduración uniforme e intermedia. Productividad y vigor alto, hojas jóvenes bronce. Calidad de taza buena.
Paraíso MGH 419-1 & Paraíso MG2	Resultado del cruce artificial realizado en UFV entre Catuaí Amarillo IAC 30 y la selección de Timor híbrido UFV 445-46, del Centro de Investigación de la roya del café, en Oeiras, Portugal.	Porte bajo, hojas jóvenes verde, Fruto oblongo, amarillo, Vigor medio, productividad alta, calidad de taza buena.
PAU-BRASIL MG 1	Hibridación artificial entre Catuaí Vermelho IAC 141 y la selección de Timor híbrido UFV 442- 34, llevada a cabo por el equipo de investigación de EPAMIG / UFV.	Porte y diámetro bajo, hojas jóvenes verde, fruto elíptico, rojo, vigor medio, buena calidad de taza y productividad alta.
SACRAMENTO MG 1	Hibridación artificial entre Catuaí Vermelho IAC 81 y la selección de 'Timor híbrido UFV 438- 52', llevada a cabo por el equipo de investigadores EPAMIG / UFV.	Productividad alta, precocidad. Los fruto rojo, nuevas hojas verde o bronce, vigor medio.
TOPÁZIO MG 1190	Cruce entre Catuaí amarillo y Nuevo Mundo, realizado por técnicos del IAC, en 1960.	Altura 2.0 m, diámetro promedio de copa 1.8 m, excelente productividad, alto vigor vegetativo, frutos amarillo, hojas nuevas bronce oscuro.
Aranãs	Se origina de cultivares Icatú Vermelho IAC 3851-2 y catimor UFV 1602-215	Alta productividad, hojas nuevas bronce. Frutos rojos y excelente calidad de taza.
TRAVESSIA (MGS Travessia)	Cruce entre los cultivares Catuaí Amarillo y Mundo Novo. Por IAC en 1960.	Tamaño bajo, forma cilíndrica. entrenudos cortos, abundantes ramas laterales. Fruto amarillo, brotes verdes, excelente producción y vigor. Responde a la poda esqueletamento.

Continuación figura 3.

Fundação Procafé (Funtec)		
Catucaí Amarelo 2SL	Cruce natural entre Icatú y Catuaí'. La primera selección se hizo en 1988 por el entonces investigadores del IBC, en una población de cultivar café Icatú Rojo.	Crecimiento vegetativo vigoroso, fruto amarillo semilla mediana. Buena capacidad de rebrote, alto vigor vegetativo y productividad, buena calidad de bebida similar a Catuaí.
Instituto Agrônomo do Paraná- IAPAR		
IAPAR 59	Cruzamiento entre Villa Sarchí CIFIC 971/10 y 832/2 Híbrido de Timor CIFIC celebrado en el CIFIC en Portugal.	Brotes bronce, fruto rojo, maduración temprana medio, calidad de la bebida similar 'Bourbon Rojo'. En sistema de siembra denso tiene la productividad de Catuaí'.
IAPAR 103	Cruce entre el café Catuaí y grupos Icatú llevado a cabo por el IAC. En 1977.	Forma cilíndrica, brotes bronce claro sistema radicular rústico. bebida de buena calidad, alta productividad. Se adapta al calor y suelos pobres.
IAPAR 107	Se deriva de un cruce entre' IAPAR 59 'y' Mundo Novo IAC 376-4'.	Fruto oblongo, rojo, Calidad de taza similar o superior a Mundo Novo, tamaño medio, hojas jóvenes verde y bronce.

Fuente: Consórcio Pesquisa Café, 2011

Figura 3. Descripción de los cultivares provenientes de Consorcio de Investigación de Café, Brasil mediante la metodología de Inoculación de discos de Hoja, propuesta por Eskes, 1983.

2.2 MARCO REFERENCIAL

En noviembre de 2013 fue realizada una visita de intercambio científico a instituciones de investigación brasileñas, para tratar sobre el tema de la resistencia genética para el control de enfermedades en el cultivo de café. Fueron visitadas la UFLA y EPAMIG, situadas en el estado de Minas Gerais, así como, IAPAR. En dicha ocasión fue posible la obtención de semillas de 27 variedades, algunas de las cuales han sido específicamente seleccionadas por su resistencia a roya.

2.2.1 Fuentes de resistencia a *H. vastatrix*

Numerosas selecciones de *C. arabica* con resistencia a *H. vastatrix* fueron hechos de material proveniente de Etiopía y Sudán, se obtuvieron varias combinaciones de Catuaí con factores de SH1 y SH3 (gen asociado a resistencia) estas se mantienen en condiciones de campo, con el objetivo de conocer sus características agronómicas importantes como la maduración, la resistencia a otras enfermedades y calidad de la bebida (Fazuoli, Braghini, Silvarolla, & Baião de Oliveira, 2007).

En el IAC se produjeron muchos híbridos intraespecíficos entre *C. arabica* con los cultivares Mundo Novo, Acaiá, Catuaí Vermelho y Catuaí Amarelo, tratando de transferir el gen SH3 a estos cultivares. Estos dan lugar a progenie de alta productividad, con gran agronómico y que tiene las características de genes SH3 (Fazouli, et al., 2007).

2.2.1.1 Timor

Un híbrido natural probable entre *C. arabica* y *C. canephora*, con resistencia a *H. vastatrix*, fue encontrado en la isla de Timor, en la década de 1940 a 1949. El nombre hace referencia al lugar de origen. Este café origina en su descendencia, alta cantidad de frutos redondeados o tipo de porra. Material muy valioso para el programa de cría, debido resulta

resistente a todas las razas de *H. vastatrix* conocidos hasta ahora en CIFC (Fazouli, et al., 2007).

2.2.1.2 Icatú

Las plantas Icatú exhiben diferentes niveles de resistencia contra la roya y también amplias oportunidades para la selección de otras características de interés agronómico, sin embargo, con el tiempo y con la aparición de nuevas razas *H. vastatrix*, estos genotipos sólo muestran una resistencia moderada o parcial (Fazouli, et al., 2007).

2.2.1.3 Germoplasma originado por cruces complejo con múltiples fuentes de resistencia

El IAC, ha generado cruces complicados que se han llevado a cabo desde los años 80, tratando de incorporar los genes SH1, SH2, SH3, SH4 y SH5 asociados con el híbrido de Timor e Icatú (SH6, SH7, SH8 y SH9), formando combinaciones genotípicas complejas. Estos genotipos están siendo estudiados para la resistencia a la roya, la productividad, el vigor, la frondosidad, rendimiento, tecnología y química, calidad de la bebida, la tolerancia a condiciones ambientales adversas (sequía y calor) y otras características de interés agronómico (Fazouli, et al., 2007).

Los cultivares de café evaluados por los métodos propuestos presentan fuente de resistencia basada principalmente en Timor e Icatú (ver cuadro 2)

Cuadro 2. Listado de cultivares de café evaluados en laboratorio.

No	Cultivar	No.	Cultivar
1	Paraíso MG2	16	Acaiá Cerrado
2	Aranãs	17	Catuaí Amarelo 17
3	Catuaí Amarelo 62	18	18p
4	Catiguá MG2	19	Catuaí Vermelho 99
5	Paraíso MGH 419-1	20	Catuaí Amarelo 2SL
6	Borbón	21	H32 11 17-4-5-4
7	Topazio MG1190	22	H29- 1-3-1-2-5-5
8	Sacramento	23	IAPAR 59
9	Oeiras	24	24ca
10	Araponga	25	IAPAR 100
11	Catuaí Vermelho 144	26	IAPAR 103
12	Acaiá 474-19	27	IAPAR 107
13	Mundo Novo 376-4	28	Caturra
14	Pau Brasil	29	Catimor
15	Travessia MG2		

Fuente: Consórcio Pesquisa Café, 2011

Carvalho et al. (2011) evaluaron los cultivares; Catuaí Amarelo 2SL, Oeiras, Sacramento, Catiguá MG2, Araponga, Pau Brasil, Paraíso MGH 419-1, Catuaí Vermelho 144, Catuaí Amarelo 62. IAPAR 59, IAPAR 100, IAPAR 103. Bajo condiciones de campo en la ciudad de Varginha Minas Gerais, 1000 m de altitud, los cultivares Catuaí Amarelo 2SL, IAPAR 100, IAPAR 103, Catuaí Vermelho 144, Catuaí Amarelo 62 presentaron 100 % de incidencia de *H. vastatrix*. Oeiras presentó 70 % de incidencia, los cultivares Sacramento, Catiguá MG2, Araponga, Pau Brasil, Paraíso MGH 419-1 e IAPAR 59 presentaron 0 % de incidencia lo cual indica que estos fueron resistentes en esta localidad.

2.2.2 Instituciones dedicadas al desarrollo de cultivares de café en Guatemala

En Guatemala no existe institución que se dedique al mejoramiento de cultivares de café, por lo cual es necesario realizar adaptación y evaluación de resistencia a de cultivares desarrollados en otros países, como por ejemplo Brasil por medio del Consórcio de investigación del Café.

2.2.3 Estudios relacionados a caracterización y selección de cultivares de café en Guatemala

En la FAUSAC se realizan estudios relacionados a cultivares de café, como caracterización del crecimiento y desarrollo como lo hizo López (2016), en el cual caracteriza tres variedades de café en tres fincas cada una situada en el norte, central y sur oriente de Guatemala. Además de caracterización se realiza selección de genotipos que han sido catalogados como promisorios en países como Brasil, como es el caso de Soto (2012), que seleccionó genotipos promisorios de café basado en caracteres agromorfológicos, resistencia a plagas y enfermedades en el departamento de Barberena, Santa Rosa.

2.2.4 Estudios que involucran la utilización del método de inoculación de esporas de *H. vastatrix* en discos de hoja de café

Eskes (1983), propuso el método de inocular esporas en discos de hoja de café, cuantificando el grado de severidad basado en escalas diagramáticas, lo cual otorga criterios para la identificación de resistencia de cultivares evaluados y así poder realizar una clasificación de estos. Cabral *et al.* (2009) realizaron un estudio de razas fisiológicas de *H. vastatrix* en 34 poblaciones de roya en hoja de café recogidas en varios genotipos de café en Brasil. La metodología para el estudio fue la inoculación en discos de hojas de

clones diferenciales de café. En Guatemala La Asociación Nacional del Café está en la fase de prueba de este método en la cual aún no se tiene crecimiento del hongo¹.

La inoculación de esporas no se realiza solamente a nivel de laboratorio en discos de hoja sino en plantas como lo realizaron Costa, Zambolim, Caixeta & Pereira (2007), en donde estudiaron la resistencia de progenie de café Catimor a roya del café, provocada por *H. vastatrix*.

2.2.5 Áreas de evaluación de los cultivares

El método de inoculación de esporas en discos de hojas de café de los cultivares evaluados se realizó en el laboratorio C-26 localizado en el edificio T8 de la Facultad de Agronomía, ubicado en la zona 12 ciudad universitaria.

La evaluación de adaptación en campo se realizó en tres localidades productoras de café, las cuales son: CEDA (zona 12, Ciudad de Guatemala, Guatemala); Parraxé (Samayac, Suchitepéquez) y Tzanchaj, (Santiago Atitlán, Sololá), las cuales presentan las condiciones meteorológicas diferentes; temperatura entre 13 °C y 25 °C, humedad relativa entre 65 % y 80 %, la precipitación entre 1,490 mm a 2,190 mm, cuadro 3.

Cuadro 3. Descripción de condiciones meteorológicas predominantes en las áreas de evaluación de los cultivares de café en campo.

FINCA	LOCALIZACIÓN	ALTITUD (m)	Condiciones Meteorológicas		
			T° (°C)	HR (%)	PP (mm)
Paraxé	Suchitepéquez	714	10-33	≥80	6052
CEDA	Guatemala	1500	18-22	75-80	1216
Tzanchaj	Sololá	1640	15-32	46-82	3003

Fuente: INSIVUMEH, 2012; Proyecto FODECYT, 2013

¹ González, E (2014). Avances de metodología de inoculación de esporas (Entrevista). Guatemala. Laboratorio de protección vegetal. ANACAFE

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar la resistencia de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) a roya ocasionada por *Hemileia vastatrix* y comparación de métodos de evaluación.

3.2 Objetivos específicos

1. Determinar la resistencia de cultivares mejorados de café a *Hemileia vastatrix* causante de la roya del café, a través de inoculación de esporas del patógeno en discos de hoja.
2. Evaluar la resistencia de cultivares de café a la roya a *Hemileia vastatrix* causante de la roya del café en cuatro departamentos de Guatemala, a través de la cuantificación de la enfermedad en plantas de café.

4 HIPÓTESIS

Los métodos de inoculación de uredosporas de *H. vastatrix* en discos de hoja de café bajo condiciones controladas en laboratorio y en el campo plantaciones comerciales, permitirá la selección de cultivares de café con resistencia a roya y habrá correspondencia en los resultados de los métodos en estudio.

5 METODOLOGÍA

5.1 Evaluación de resistencia de cultivares de café a *Hemileia vastatrix* mediante el método de inoculación de uredosporas en discos de hoja de café

Para identificar cultivares de café resistentes a *H. vastatrix*, se realizó la inoculación de esporas, en discos de hojas de cultivares de café utilizando una metodología basada en la propuesta realizada por Eskes, 1983. Los procedimientos utilizados fueron:

5.1.1 Preparación de suspensión de uredosporas de *H. vastatrix*

Las uredosporas utilizadas para la inoculación de discos de hoja fueron extraídas de material enfermo del cultivar Caturra, establecido en el Centro Experimental De Agronomía, en la ciudad universitaria Zona 12, Guatemala.

Las hojas utilizadas para la colecta de uredosporas presentaron *H. vastatrix* en etapa de esporulación (presencia de pústulas), esporas color naranja intenso (uredosporas), no hiperparasitadas por *Lecanicillium* sp., ausencia de contaminantes como suelo (ver figura 4a).

Con el estereoscopio se verificó la presencia de pústulas con uredosporas y ausencia de contaminantes (*Lecanicillium* sp., suelo e insectos), identificando las esporas idóneas para realizar la extracción de uredosporas (ver figura 4b).

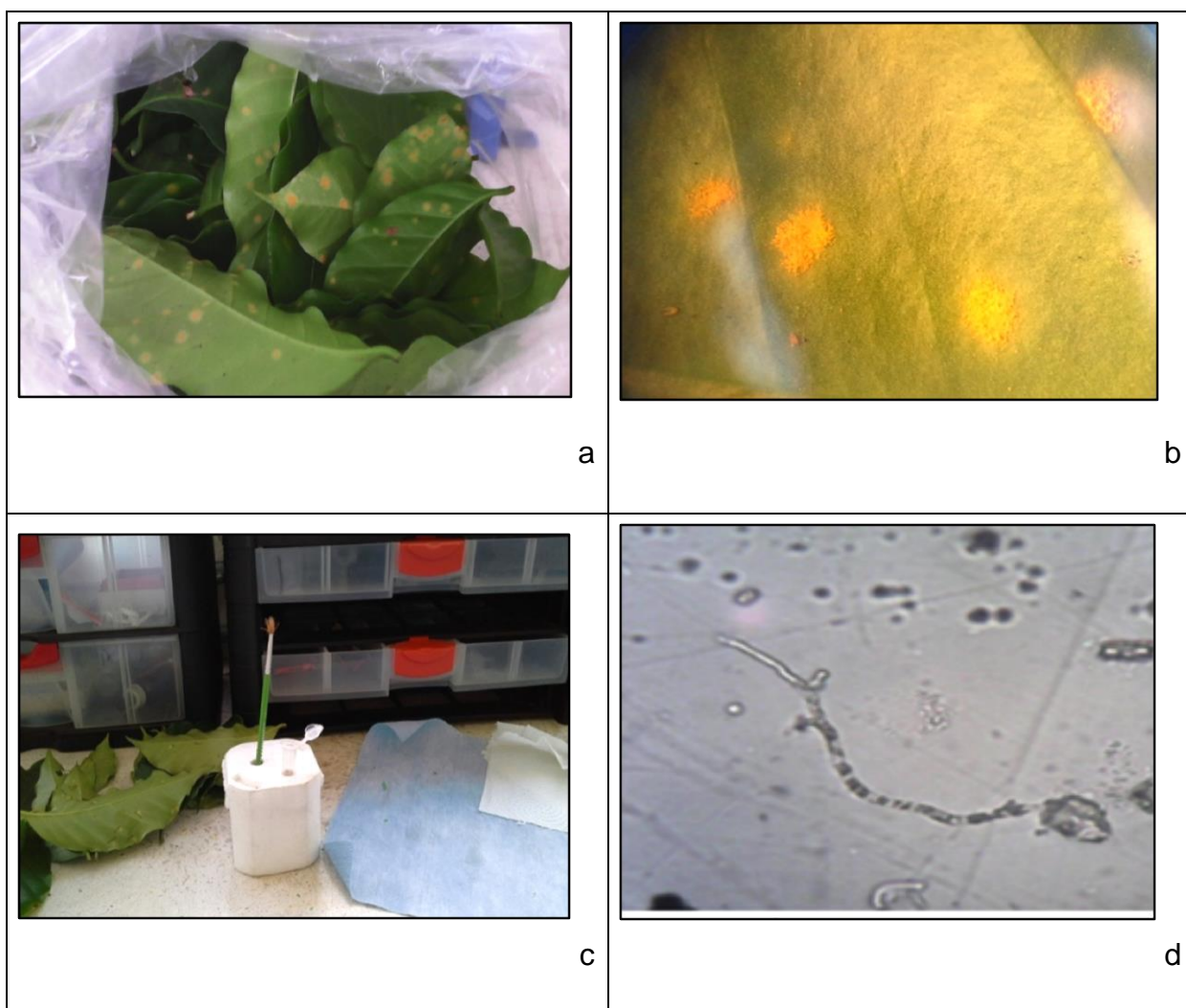
La colecta de uredosporas se realizó con un pincel, con movimientos suaves, estas se depositaron en caja Petri estériles y se dejaron a temperatura ambiente (ver figura 4c).

Se realizó una prueba de germinación, simultáneamente con la inoculación (ver figura 4d), el proceso fue:

- Se identificó la muestra compuesta por uredosporas, en 1 ml de agua destilada, se realizó la Incubación en oscuridad a 25 °C, por 48 horas. Se calculó de porcentaje de germinación con el conteo de esporas geminadas y no germinadas presente en

un 1 ml de muestra posterior al tiempo de incubación. Para la inoculación en discos de hoja solamente se utilizaron esporas con más de 10 % de germinación (Esques, 1983).

La suspensión de esporas se elaboró con 5 ml de agua destilada y 1.2 mg de uredosporas, se mantuvo en movimiento, para evitar la deposición de las esporas. El número de esporas presentes en un mg es de aproximadamente $1,5 \times 10^5$.



Fuente: Autor, 2017

Figura 4. Fotografías de preparación de suspensión de uredosporas de *Hemileia vastatrix*, a) colecta y transporte de hojas con uredosporas, b) selección de esporas sin contaminantes, c) colecta de esporas utilizando un pincel, d) espora germinada, resultado de la prueba de germinación realizada previo a la preparación de la suspensión.

5.1.2 Preparación de discos de hoja de cultivares de café

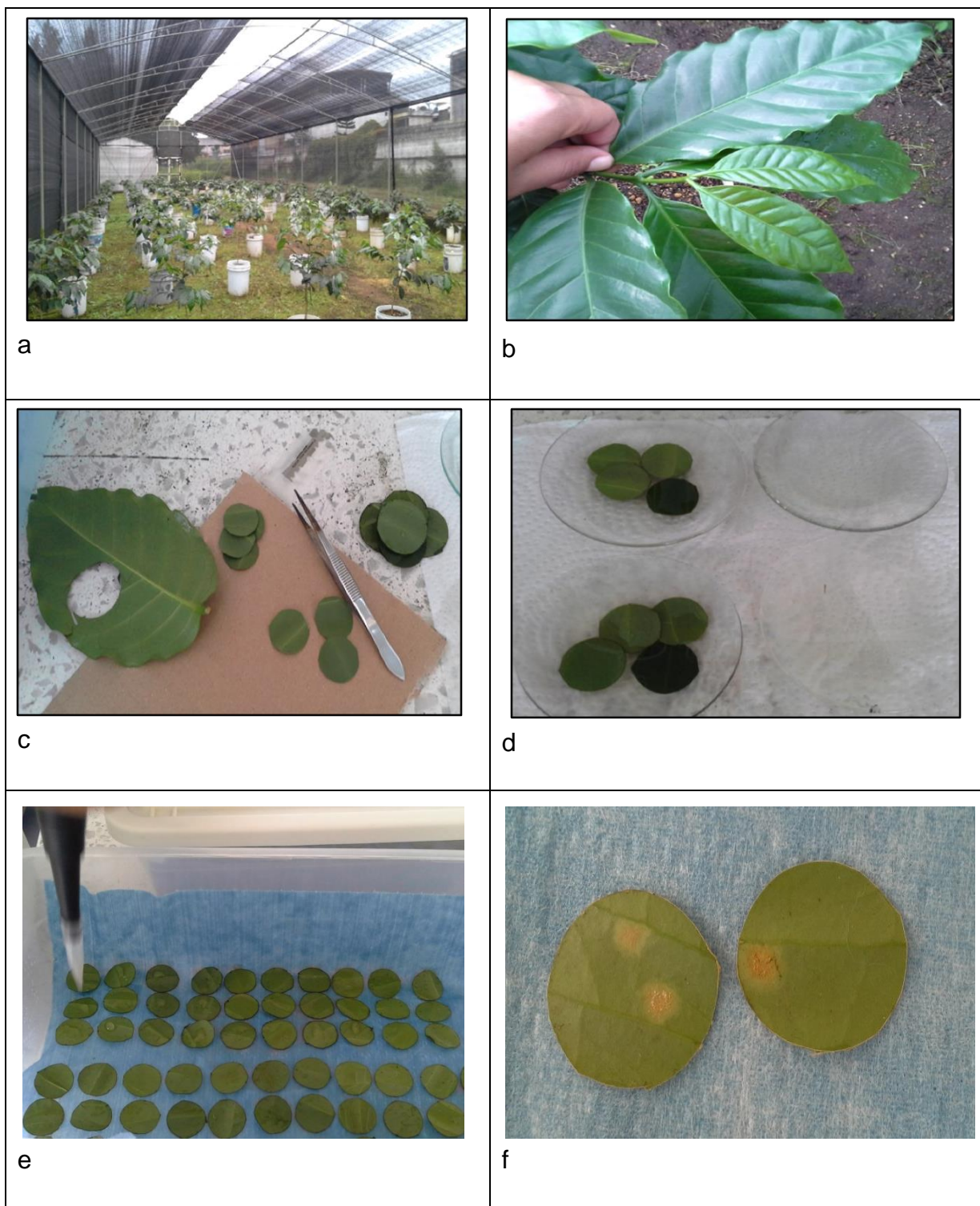
El material vegetal utilizado para la elaboración de discos de hoja de café, fue obtenido de cultivares establecidos en el área de invernaderos del CEDA.

La colecta de hojas se realizó durante la mañana, presentaban características morfológicas como: tejido joven y verde brillante, ausencia de lesiones mecánicas o daño por enfermedad, generalmente están presentes en el tercer par previo a la yema apical. El número de hojas utilizadas fueron cuatro por repetición.

Las hojas se identificaron y transportaron dentro de una bolsa de plástico, hacia el laboratorio. Dentro del laboratorio se realizó un corte circular a las hojas de un diámetro 2 cm con una hoja de afeitar lo que favorece la disminución de daño al tejido.

Posterior al corte se debe dejar reposar el disco de hoja aproximadamente 5 minutos con el fin de estimular la cicatrización, Se desinfectó por medio de un proceso compuesto por agua estéril, 60 segundos, alcohol al 70 %, 30 segundos, agua estéril 60 segundos, solución de hipoclorito de sodio al 1 %, 30 segundos y agua estéril, 60 segundos respectivamente.

Los tratamientos, se colocaron dentro de una cámara húmeda, la cual consistió en una caja plástica, en el fondo se colocó papel húmedo suspendido por cajas de petrí. Encima del papel se colocaron los discos de hoja de café (ver figura 5)



Fuente: Autor, 2017

Figura 5. Fotografías del proceso de elaboración de discos de hoja, a) colecta de cultivares de café, b) selección de hojas para realizar discos, c) corte de discos de hoja (laboratorio), d) proceso de desinfección (compuesto por agua, alcohol 70 %, agua, hipoclorito de sodio y agua). e) Inoculación de discos de hoja de café con solución de esporas. f) síntomas y signos observados

5.1.3 Inoculación de discos de hoja con uredosporas de *Hemileia vastatrix* y monitoreo de microambiente de cámara húmeda

Se realizó una suspensión, consistente en 5 ml de agua + 1.2 mg de uredosporas. Luego con la ayuda de una micropipeta se adicionó 0.05 ml de suspensión sobre la superficie húmeda cada disco. La suspensión mantuvo en movimiento constante para evitar la deposición de las esporas. Los cultivares fueron identificados. La temperatura y humedad relativa dentro de la cámara húmeda fue medida con un termo higrómetro, se cuantificó semanalmente con el fin de manejar la humedad relativa.

5.1.4 Cuantificación de roya del café en discos inoculados

Se cuantificó incidencia y severidad cada 24 horas, para evaluar severidad se utilizó la escala propuesta por Eskes1983, modificada (ver figura 6). Principalmente describe severidad.

Clase	Descripción según clase
0	Inmunidad, ninguna reacción visible. No se observan síntomas de enfermedad ni signos de patógeno.
1	Manchas cloróticas, no hay producción de uredosporas.
2	Mezcla de varios tamaños de manchas cloróticas, incluidas zonas cloróticas muy grandes, no hay producción de uredosporas.
3	Formación de uredosporas en lesiones grandes y cloróticas, esporulación de menos de 25 % de toda la lesión, presencia de esporas inmaduras
4	Manchas cloróticas de varios tamaños, alguna formación de uredosporas en lesiones grandes y cloróticas, esporulación de menos de 75 % de toda la lesión, presencia de esporas inmaduras.
5	Formación de abundantes uredosporas en lesiones grandes, esporulación de menos de 95 % de toda la lesión, presencia de esporas, frontera de la lesión marcada con tejido necrótico.

Fuente: basado en Eskes, 1983

Figura 6. Clave descriptiva utilizada para la cuantificación de roya del café

5.1.5 Unidad experimental y repeticiones

Consistió en tres discos de café con diámetro de 2.0 cm, los cuales se colocaron de forma lineal espaciados 0.5 cm entres si, para el estudio se utilizaron cuatro repeticiones

5.1.6 Variables evaluadas

Se evaluó incidencia de roya del café para esto se consideró presencia o ausencia, la segunda variable fue severidad de dicha enfermedad. La frecuencia de evaluación fue cada 24 horas, basada en la metodología anteriormente descrita.

5.1.7 Análisis de información

El análisis de severidad, se realizó utilizando el programa InfoStat®, se elaboró una tabla de contingencia para conocer si existía una relación entre la severidad y los cultivares de café evaluados, se evaluó dicha relación utilizando el estadístico Chi Cuadrado Pearson y Chi Cuadrado MV-G2. Como existió significancia, se realizó un diagrama Biplot a partir de un análisis de correspondencias simples, lo cual permitió visualizar la asociación entre la severidad y los cultivares, en este diagrama las distancias cortas indican asociación.

Debido a que la medición se realizó por medición de conteos, y la variable severidad es discreta, el método utilizado fue: Modelo lineal generalizado Bernoulli con función de enlace canónico Log.² Para conocer la presencia de correlación entre las variables, cultivar y severidad, este método permitió agrupar por medio de la prueba de comparaciones múltiples DGC (Di Rienzo, Guzmán y Casanoves), los cultivares con base

²Casanoves, F. 2016. Análisis multivariado (entrevista). Costa Rica, Departamento de Bioestadística, CATIE.

a frecuencia de severidad estadísticamente iguales. Se graficó el comportamiento de la severidad media a través del tiempo de los grupos categorizados por la prueba realizada.

Adicionalmente a partir de la información de apareamiento de síntomas de roya en los discos de café inoculados y signos observados en los cultivares susceptibles se determinó el periodo de incubación (PI) como el tiempo transcurrido desde la inoculación hasta la presencia de puntos cloróticos en los discos de café (tiempo a síntomas). (Leguizamón Caycedo, 1998). Y periodo de latencia (PL) definido como el tiempo en días desde la inoculación hasta el 50 % de discos de hoja, con presencia de esporulación (tiempo a signos) (Leguizamón Caycedo, 1998).

5.2 Evaluación de resistencia de cultivares de café a *Hemileia vastatrix* mediante el método de cuantificación de la enfermedad en plantas de café en campo

Se establecieron ensayos en tres localidades con diferentes condiciones edafo-climáticas, para observar la resistencia de los cultivares de café al hongo *H. vastatrix*. Los ensayos contenían 25 plantas por cada cultivar de forma lineal

La distancia de siembra entre hileras de cultivo fue de 2.0 m y la distancia entre plantas de 1.0 m, para una densidad equivalente a 5,000 plantas/ha.

5.2.1 Variables evaluadas y cuantificación de roya del café

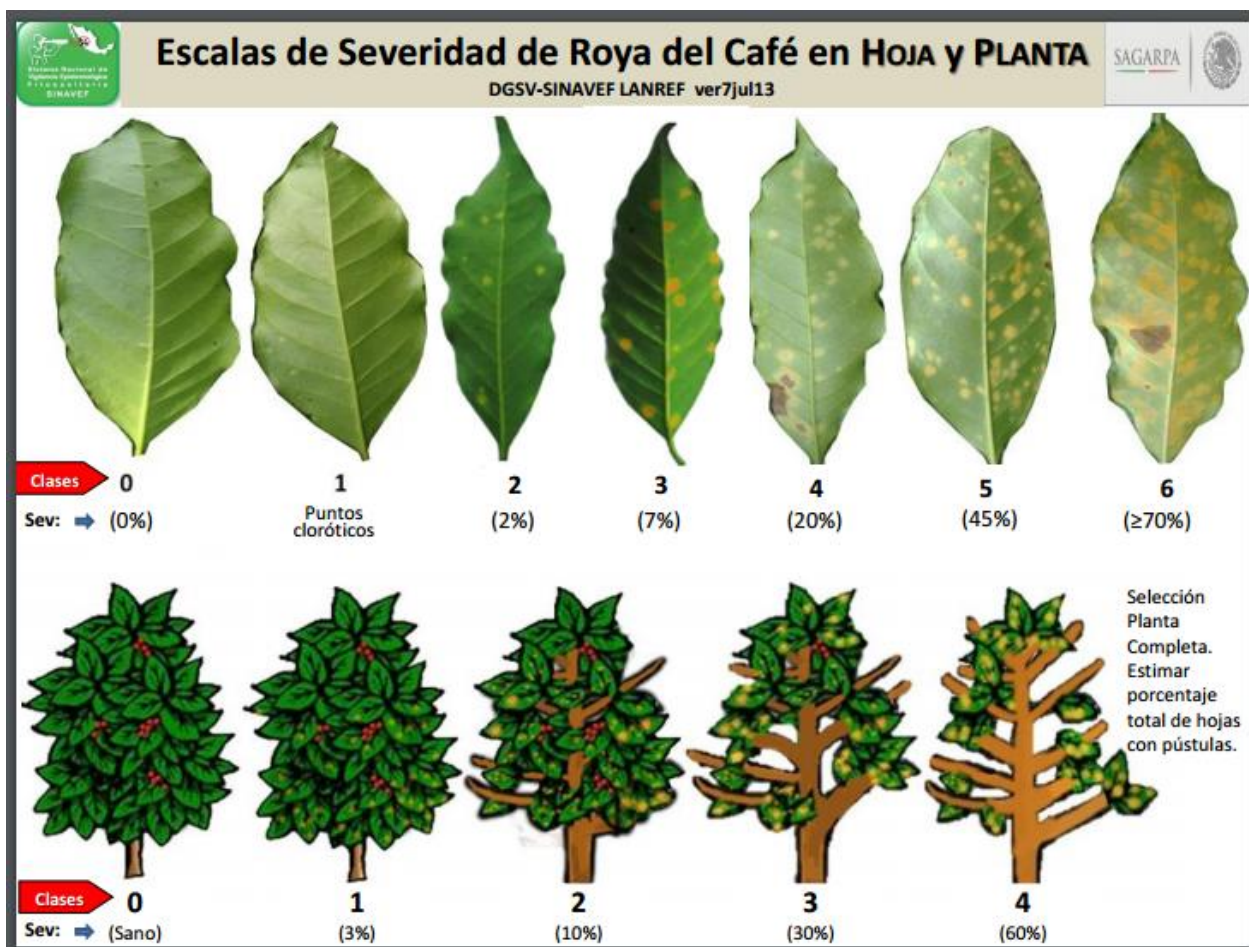
las variables observadas y cuantificadas a nivel de campo fueron:

- a. Incidencia:** se cuantificó como el número de plantas enfermas en relación a la población total, en un momento específico (Moreno, López, & Corcho, 2000).

- b. **Severidad:** cantidad de tejido afectado por una enfermedad. (Arneson, 2006) Se utilizó una escala diagramática, la cual describe el porcentaje de daño ocasionado por *H. vastatrix* (SAGARPA, 2013).

5.2.2 Toma de datos

Se cuantificó la incidencia y severidad en base a la escala diagramática que representa el porcentaje de severidad (ver figura 7) con una temporalidad única durante el periodo de mayor incidencia y severidad de roya, registrado para Guatemala (agosto-septiembre) (Calderón, 2012).



Fuente. SAGARPA, 2013

Figura 7. Escalas de severidad utilizadas para la cuantificación de severidad de *Hemileia vastatrix* en campo.

5.2.3 Análisis de información

Se clasificaron los cultivares en base a la presencia o ausencia de roya del café, por cada localidad. Se cuantificó incidencia y severidad observada en las tres localidades (Suchitepéquez, finca Parraxé, Guatemala Finca CEDA y Caserío Tzanchaj Sololá), se comparó la presencia de enfermedad en cada cultivar, dentro de cada localidad, obteniendo la resistencia de los cultivares a las localidades.

5.3 Comparación de métodos: Inoculación de discos de hoja y cuantificación de la enfermedad en plantas de café (campo)

Por medio de los datos de resistencia o susceptibilidad obtenidos por el método de inoculación en disco de hoja y cuantificación de roya en campo en tres localidades, se calculó el porcentaje de datos similares entre los dos métodos con el fin de determinar la similitud entre los dos métodos, así determinar la confiabilidad de realizar Inoculación de esporas en disco de hoja como método en la determinación del grado de resistencia de los cultivares, bajo condiciones de campo.

La condición de resistencia se determinó en base a la ausencia del periodo de incubación y de latencia, cuando un material presentó ausencia de ambos periodos se catalogó como resistente, si existió presencia de periodo de incubación y ausencia de latencia se denominó resistencia parcial y cuando ambos periodos estuvieron presentes se designó la condición susceptible.

6 RESULTADOS

6.1 Evaluación de resistencia de cultivares de café a *Hemileia vastatrix* mediante el método de inoculación de esporas del hongo en discos de hoja de café en laboratorio

La evaluación de la resistencia fue fundamentada en la observación de síntomas y signos del patógeno en cada cultivar estudiado en condiciones de cámara húmeda en laboratorio. Se inocularon esporas de un aislamiento del hongo *H. vastatrix* en discos de café. De acuerdo a la escala diagramática utilizada en la cuantificación de la enfermedad, cuando la clase de severidad registrada fue uno se consideró como periodo de incubación con la aparición de los síntomas de la enfermedad. En severidad clase dos, fue considerado como periodo de latencia, en el cual hubo presencia de signos del patógeno (uredosporas). En el cuadro 4 se presenta información del período de incubación y de latencia determinados para cada cultivar de café.

Según los periodos referidos, se definieron con resistencia al hongo *H. vastatrix* los cultivares: Catimor, IAPAR 103, IAPAR 59, H32 11 17-4-5-4, Araponga, Sacramento, Paraíso MGH 419-1 y Catiguá MG2. Esto debido a que no mostraron síntomas de roya y signos del patógeno después de la inoculación del hongo con el método en mención. Se clasificaron con resistencia parcial los cultivares: IAPAR 107, IAPAR 103, 24Ca, H29-1-3-1-2-5-5, Pau Brasil, Acaiá 474-19, Oeiras, Paraíso MG2 y Arañas. Estos genotipos mostraron únicamente manchas cloróticas en los discos de café, este síntoma fue observado 14 días después de la inoculación en el cultivar H29- 1-3-1-2-5-5 y 35 días en el cultivar 24Ca.

Los cultivares de café evaluados y considerados susceptibles al hongo *H. vastatrix* fueron: Caturra (testigo), Catuaí Amarelo 62, Borbón, Topazio MG1190, Catuaí Vermelho 144, Mundo Novo 376-4, Travessia MG2, Acaiá Cerrado, Catuaí Amarelo 17, 18p, Catuai Vermelho 99 y Catucaí Amarelo 2SL. El periodo de incubación del patógeno en estos cultivares fue variable. Por ejemplo, se determinó 7 días para Caturra y 20 días para Travessia MG2 y Catucaí Amarelo 2SL, que presentaron el mayor periodo de incubación para el grupo de cultivares considerados susceptibles. El periodo de latencia fue de 16 días para Caturra y 35 días en Travessia MG2, indica que Caturra es el cultivar que

presentó menor periodo de incubación, latencia y mayor susceptibilidad al hongo. A partir de estos resultados, este tipo de evaluación resulta eficaz para seleccionar cultivares resistentes de café y su posible comportamiento en campo.

Cuadro 4. Resumen de la evaluación de resistencia de cultivares de café a la inoculación de esporas del hongo *Hemileia vastatrix* en discos de hojas. Cuantificación de periodo de incubación y latencia bajo condiciones de cámara húmeda, en laboratorio. Guatemala, 2016

No.	CULTIVAR	PERIODO INCUBACIÓN	PERIODO LATENCIA	CONDICIÓN
1	Catiguá MG2	NA	NA	Resistente
2	Paraíso MGH 419-1	NA	NA	Resistente
3	Sacramento	NA	NA	Resistente
4	Araponga	NA	NA	Resistente
5	H32 11 17-4-5-4	NA	NA	Resistente
6	IAPAR 59	NA	NA	Resistente
7	IAPAR 103	NA	NA	Resistente
8	Catimor	NA	NA	Resistente
9	24 Ca	35	NA	R. parcial
10	IAPAR 100	18	NA	R. parcial
11	IAPAR 107	21	NA	R. parcial
12	Oeiras	21	NA	R. parcial
13	Pau Brasil	27	NA	R. parcial
14	Acaíá 474-19	20	NA	R. parcial
15	H29- 1-3-1-2-5-5	14	NA	R. parcial
16	Paraíso MG2	28	NA	R. parcial
17	Aranãs	21	NA	R. parcial
18	18p	17	23	Susceptible
19	Catuai Vermelho 99	14	21	Susceptible
20	Catucai Amarelo 2SL	20	24	Susceptible
21	Travessia MG2	20	35	Susceptible
22	Acaíá Cerrado	13	28	Susceptible
23	Catuaí Amarelo 17	14	28	Susceptible
24	Catuaí Amarelo 62	13	21	Susceptible
25	Borbón	17	19	Susceptible
26	Topazio MG1190	14	27	Susceptible
27	Caturra	7	16	Susceptible
28	Catuaí Vermelho 144	14	28	Susceptible
29	Mundo Novo 376-4	14	21	Susceptible

NA= no aplica

6.2 Severidad de roya del café en discos de café y clasificación de la resistencia de los cultivares basado en análisis multivariado

De acuerdo a la clave descriptiva de Eskes (1983) modificada, los valores de severidad variaron de cero a cinco de acuerdo a la clave utilizada y se logró caracterizar la resistencia de los cultivares de café. En la figura 8 se presenta en una escala diagramática los signos y síntomas observados y que fueron importantes para la clasificación de los cultivares considerados en el estudio.

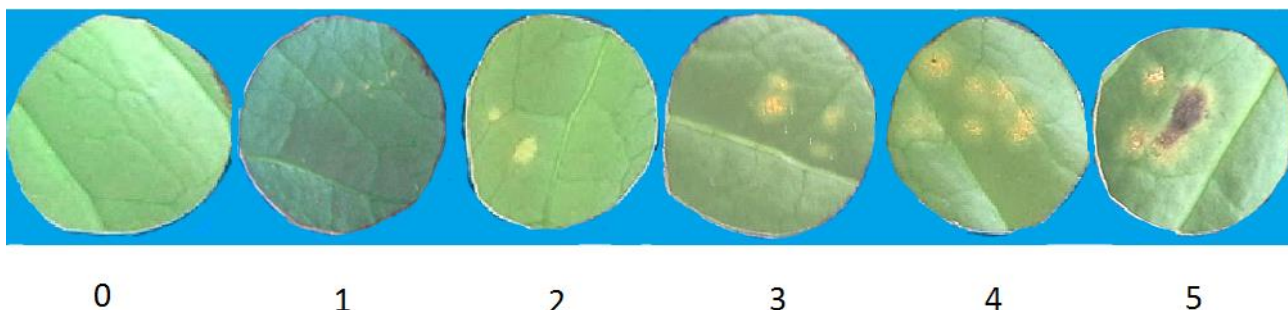


Figura 8. Escala diagramática elaborada a partir de valores de enfermedad observados después de la inoculación de uredosporas de *Hemileia vastatrix* en discos de hoja de cultivares de café.

Para el análisis de los datos de severidad obtenidos en los discos de hoja inoculados fue necesaria la elaboración de una tabla de contingencia, las cuales son formas tabulares de presentar datos categorizados para análisis simultáneo de dos o más variables. Una variable categorizada es aquella en la cual la escala de medida consiste en un conjunto de categorías (Balzarini, Gonzalez, Tablada, Casanoves, Di Rienzo, & Robledo, 2008). Para el caso de la evaluación de los cultivares de café, las variables categorizadas fueron severidad (variable respuesta) y cultivar (variable de clasificación). La tabla de contingencia obtenida a través del programa InfoStat versión 2016, en la cual se presentan las frecuencias absolutas de nivel de severidad obtenido por cada cultivar a través del tiempo de observación posterior a la inoculación de uredosporas (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Tabla de contingencia obtenida a partir de la frecuencia absoluta de severidad, cuantifica a través del tiempo a partir de inoculación de esporas en discos de cultivares de café, en columna; severidad y filas los cultivares

Cultivares\Clase de clave descriptiva	0	1	2	3	4	5	Total
Catiguá MG2	267	0	0	0	0	0	267
IAPAR 59	136	0	0	0	0	0	136
IAPAR 103	136	0	0	0	0	0	136
Catimor	136	0	0	0	0	0	136
H32 11 17-4-5-4	136	0	0	0	0	0	136
Paraíso MGH 419-1	135	0	0	0	0	0	136
Araponga	134	0	0	0	0	0	134
Sacramento	132	0	0	0	0	0	132
24 Ca	122	15	0	0	0	0	137
IAPAR 100	117	20	0	0	0	0	137
IAPAR 107	108	29	0	0	0	0	137
Pau Brasil	98	39	0	0	0	0	137
Paraíso MG2	119	18	0	0	0	0	137
Aranãs	82	47	8	0	0	0	137
Oeiras	117	19	0	0	0	0	136
H29- 1-3-1-2-5-5	111	24	0	0	0	0	135
Acaiá 474-19	110	3	18	0	1	2	134
Topazio MG1190	56	18	22	7	14	18	135
Travessia MG2	61	32	35	7	0	0	135
Catuaí Amarelo 2SL	117	5	0	4	9	0	135
Catuaí Vermelho 144	61	14	32	12	0	15	134
Acaiá cerrado	50	50	10	6	6	11	133
Borbón	62	31	7	12	11	10	133
18P	107	4	13	8	0	0	132
Catuaí Amarelo 17	85	19	18	9	0	0	131
Caturra	33	18	8	3	3	65	130
Mundo Novo 376-4	72	24	20	3	11	0	130
Catuaí Amarelo 62	49	15	31	7	16	11	129
Catuaí Vermelho 99	74	18	9	6	4	17	128
Total	3023	471	231	84	75	149	4033

Para validar la tabla de contingencia (ver cuadro 5), se realizó la prueba de Chi Cuadrado MV-G2 y se determinó el efecto de los cultivares sobre la distribución de severidad de roya según cultivar. Como el valor **p** obtenido en el análisis fue < 0.0001 , se concluyó que hubo relación entre las clases de severidad y los cultivares evaluados en cámara húmeda a nivel de laboratorio, esto indica que los cultivares de café se pueden asociar a una frecuencia de severidad tal como se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6. Valores de probabilidad obtenidos a partir de la tabla de contingencia para la prueba de asociación de frecuencias de escalas de severidad y cultivares evaluados.

<i>Estadístico</i>	<i>Valor</i>	<i>gl</i>	<i>p</i>
Chi Cuadrado Pearson	2530.51	140	$<0.0001^*$
Chi Cuadrado MV-G2	2075.14	140	$<0.0001^*$
Coeficiente contingencia Cramer	0.32		
Coeficiente contingencia Pearson	0.62		

gl: grado de libertad, **p:** valor de probabilidad

Fundamentado en los valores de probabilidad obtenidos con la prueba de asociación de frecuencias, en donde hubo relación entre las clases de severidad y cultivares evaluados, Se identificó que los cultivares: Catiguá MG2, IAPAR 59, IAPAR 103 Catimor, H32 11 17-4-5-4, Paraíso MGH 419-1, Araponga y Sacramento, fueron considerados resistentes bajo las condiciones de evaluación. Presentaron eventos con valor cero de acuerdo con la clave descriptiva de severidad utilizada, la menor fue de 132 para Sacramento y la mayor fue de 267 para Catiguá MG2 (ver cuadros 4 y 5).

Los cultivares: 24 Ca, IAPAR 100, IAPAR 107, Pau Brasil, Paraíso MG2, Aranãs, Oeiras y H29- 1-3-1-2-5-5, fueron considerados con resistencia parcial, debido a que presentaron síntomas consistentes en manchas cloróticas leves sin producción de uredosporas, correspondiente al valor uno expresado en la clave descriptiva. El número mínimo de eventos con la clase uno fue de 15 correspondiente al cultivar 24 Ca y el máximo de 39 en Pau Brasil. Únicamente Aranãs presentó 8 eventos de la clase dos (ver cuadro 4 y 5).

Contrario a lo anterior, se catalogaron como susceptibles a la roya del café los cultivares: Acaiá 474-19, Topazio MG1190, Travessia MG2, Catucaí Amarelo 2SL, Catuaí Vermelho 144, Acaiá cerrado, Borbón, 18P, Catuaí Amarelo 17, Caturra, Mundo Novo 376-4, Catuaí Amarelo 62, Catuaí Vermelho 99. En estos, se cuantificó la clase cinco y hubo 65 eventos para la variedad caturra y fue la más susceptible (ver cuadro 4 y 5).

Para ilustrar la relación existente entre los cultivares de café evaluados y la severidad que presentaron al estar expuestos a uredosporas de *H. vastatrix* en el ensayo de discos de hoja de café, se realizó un diagrama Biplot a partir de un análisis de correspondencias simples. Esto permitió visualizar la asociación en un mismo espacio, entre todos los cultivares de café evaluados y la clase de severidad que presentaron en el estudio (ver figura 9). En esta, aparecen dos componentes relacionados. El primer componente (Eje 1) separa cultivares de café que presentaron severidad cero (resistentes) del resto de clases de severidad cuantificada en los otros cultivares de café. En el segundo componente (Eje 2) se presenta la frecuencia de observaciones de severidad que presentaron los cultivares. Los puntos en color azul representan observaciones en cultivares. A partir de esto se clasificaron cuatro grupos de cultivares (encerrados en círculos) en base a la relación observada entre escala de severidad y frecuencia de severidad por cultivar.

Las características consideradas para tipificar los grupos en la figura 9 fueron: grupo 1, corresponde a la variedad Caturra (CATUR) que estuvo más asociada a la frecuencia de severidad 5, presentó alta formación de uredosporas en lesiones grandes, esporulación de alta asociado con tejido necrótico en la fase final. Esto indica que es una variedad altamente susceptible al patógeno y recomendado para ser utilizado como testigo (susceptible) en futuros estudios.

El grupo 2, contempla los cultivares: Topazio MG1190 (TPMG1190), Catuaí Amarelo 62 (CAA62) y Catuaí Vermelho 144 (CAV144). Se relaciona con severidad 2, 3 y 4 con presencia de manchas cloróticas en varios tamaños, formación de uredosporas en lesiones grandes y cloróticas, esporulación de menos de 75 % de toda la lesión, presencia de esporas inmaduras.

El grupo 3, fue integrado por los cultivares: Mundo Novo 376-4 (MN3764), Catuaí Amarelo 17 (CAA17), Aranãs (ARA), Travessia MG2 (TRAVMG2), Borbón (BOURB), Acaiá Cerrado (ACCERR), Catuaí Vermelho 99 (CAV99). Con altas frecuencia de eventos relacionados a clase de severidad uno, cuya característica es la presencia de manchas cloróticas tenues, lo que explicaría que presentan periodo de incubación prolongado contrario a lo que se observó en la variedad caturra.

El grupo 4, abarcó los cultivares: Catimor (CATIM) = testigo resistente, IAPAR 107 (IA107), IAPAR 103 (IA103), IAPAR 100 (IA100), 24 Ca (24CA), IAPAR 59 (IA59), H29- 1-3-1-2-5-5 (H29), H32- 11 17-4-5-4 (H32), Catucaí Amarelo 2SL (CTCAI2SL), 18p (18P), Pau Brasil (PAUB), Acaiá 474-19 (ACA47419), Araponga (ARAP), Oeiras (OEIR), Sacramento (SACRA), Paraíso MGH 419-1 (PA4191) y Catiguá MG2 (CTMG2). Está asociado a mayor número de eventos en la severidad 0, lo cual indica que tienen mayor resistencia al hongo *H. vastatrix*.

Con base a la presencia de relación entre las clases de severidad y cultivares evaluados observada en el diagrama Biplot (ver figura 9), para evaluar la presencia de correlación entre las variables indicadas, se utilizó el Modelo lineal generalizado Bernoulli con función de enlace canónico Log.³

En la prueba de hipótesis secuencial para los efectos fijos, se obtuvo valor de $p < 0.0001$, en la prueba de Chi Cuadrado. Con esto se concluyó que existió correlación entre la frecuencia de clase de severidad y los cultivares, además, hubo diferencia entre estas variables. Para agrupar los cultivares se realizó la prueba de medias DGC (Di Rienzo, Guzmán & Casanoves) para clasificar en base a carácter transitivo y permitió obtener mayor rigor para diferenciar grupos relacionados a eventos por clase de severidad. De acuerdo al análisis, se obtuvo seis grupos de cultivares (ver cuadro 7).

³Casanoves, F. 2016. Análisis multivariado (comunicación personal). Costa Rica, Departamento de Bioestadística, CATIE.

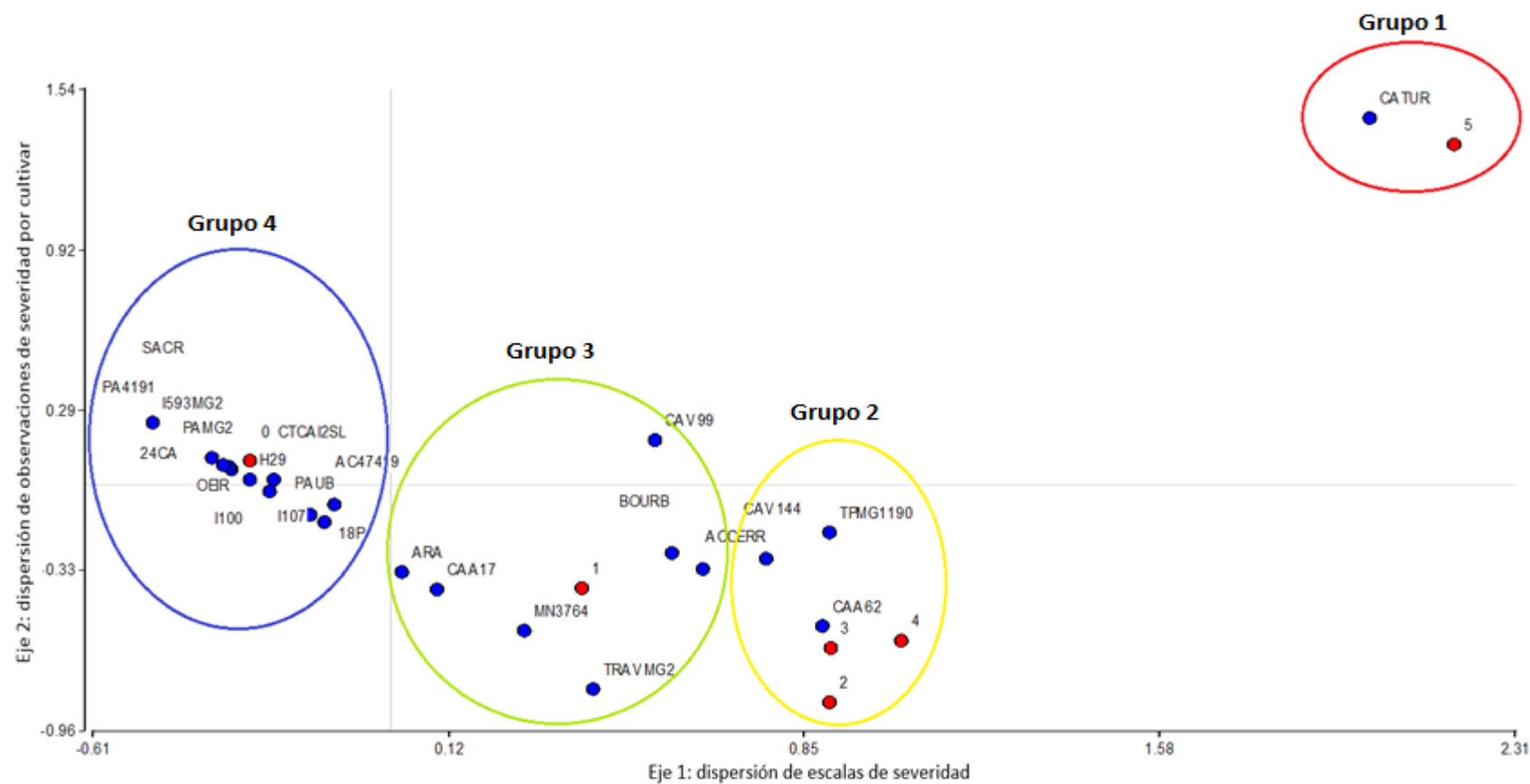


Figura 9. Diagrama Biplot a partir de análisis de correspondencias simples para visualizar y determinar la asociación entre la severidad y los cultivares evaluados, en la determinación de la resistencia a *Hemileia vastatrix*. Círculos rojos = clase de severidad, 0-5; Azul = cultivar.

Cuadro 7. Grupos de cultivares clasificados en base a la prueba múltiple de medias, DGC. INC - Medias ajustadas y errores estándares para cultivares, inversa de la función de enlace con efecto aleatorio=0, DGC (Alfa=0.05).

Cultivar	Pred.	Lin.	E E.	Media	<u>Grupos basados en la prueba DGC</u>	
Caturra	1.78	0.25	0.86	0.03	A	
Catuaí Amarelo 62	0.93	0.23	0.72	0.05	B	
Acaíá cerrado	0.88	0.23	0.71	0.05	B	
Topazio MG1190	0.59	0.22	0.64	0.05	B	
Travessia MG2	0.34	0.22	0.58	0.05	B	
Catuaí Vermelho 144	0.34	0.22	0.58	0.05	B	
Borbón	0.29	0.22	0.57	0.05	B	
Mundo Novo 376-4	-0.23	0.23	0.44	0.06	C	
Catuaí Vermelho 99	-0.33	0.23	0.42	0.05	C	
Aranãs	-0.68	0.22	0.34	0.05	C	
Catuaí Amarelo 17	-0.89	0.23	0.29	0.05	C	
Pau Brasil	-1.52	0.24	0.18	0.04	D	
IAPAR 107	-2.12	0.26	0.11	0.02		E
18P	-2.26	0.27	0.09	0.02		E
Acaíá 474-19	-2.36	0.28	0.09	0.02		E
H29- 1-3-1-2-5-5	-2.4	0.28	0.08	0.02		E
IAPAR 100	-2.76	0.29	0.06	0.02		E
Oeiras	-2.78	0.29	0.06	0.02		E
Catuaí Amarelo 2SL	-2.88	0.3	0.05	0.02		E
Paraíso MG2	-2.92	0.3	0.05	0.01		E
24Ca	-3.2	0.32	0.04	0.01		E
Sacramento	-6.04	1.02	2.40E-03	2.40E-03		F
Catiguá MG2	-6.17	0.72	2.10E-03	1.50E-03		F
Araponga	-6.18	1.02	2.10E-03	2.10E-03		F
Paraíso MGH 419-1	-6.33	1.02	1.80E-03	1.80E-03		F
IAPAR 59	-6.34	1.02	1.80E-03	1.80E-03		F
IAPAR 103	-6.34	1.02	1.80E-03	1.80E-03		F
H32 11 17-4-5-4	-6.34	1.02	1.80E-03	1.80E-03		F
Catimor	-6.34	1.02	1.80E-03	1.80E-03		F

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Colateral a los análisis anteriormente expuestos, a partir de los datos de cuantificación de severidad en los discos de café en cámara húmeda a través del tiempo, se construyeron curvas de progreso de roya del café para cada cultivar (ver figura 7). Se presentan las

curvas representados en grupos obtenidos con la prueba de medias y se describen a continuación.

Grupo A. Formado por la variedad Caturra, altamente susceptible al hongo *H. vastatrix*. Periodo de incubación 7 días. Periodo de latencia 16 días, tuvo mayor tasa de progreso de enfermedad con 0.29 (ver figura 10A).

Grupo B. Incluye los cultivares: Borbón, Catuaí Vermelho 144, Travessia MG2, Acaiá Cerrado, Topazio MG1190 y Catuaí Amarelo 62. Susceptibles a roya, pero con menor severidad comparado con Caturra. La tasa máxima de progreso de enfermedad para este grupo fue de 0.17 (ver figura 10B).

Grupo C. compuesto por los cultivares: Mundo Novo 376-4, Catuaí Vermelho 99, Aranãs y Catuaí Amarelo 17. La severidad máxima promedio dentro de este grupo fue tres correspondiente a Catuaí Vermelho 99, en el día 38 después de inoculación. Con menor intensidad de roya comparado con el grupo B. La tasa máxima de progreso de enfermedad para este grupo fue de 0.12 (figura 10C).

Grupo D. Incluyó únicamente el cultivar Pau Brasil. Presentó manchas cloróticas 25 días después de la inoculación de esporas del hongo, sin llegar a periodo latente. La tasa máxima de progreso de enfermedad para este grupo fue de 0.05 (figura 10D).

Grupo E. Compuesto por los cultivares: IAPAR 107, 18p, Acaiá 474-19, H29-1-3-1-2-5-5, IAPAR 100, Oeiras, Catucaí Amarelo 2SL, Paraíso MG2, 24 Ca. Tienen la característica de presentar solamente periodo de incubación, similar al grupo D, diferenciados por haber presentado los síntomas a los 15 días después de la inoculación y mayor tasa de progreso de la enfermedad entre 0.03 a 0.05 (figura 10E).

Grupo F. Es el grupo de cultivares de café catalogados como resistentes al aislamiento de *H. vastatrix* que fue utilizado y comprende los cultivares: Sacramento, Catiguá MG2, Araponga, Paraíso MGH 419-1, Iapar 59, IAPAR 103, H32 11 17-4-5-4 y Catimor (figura 10F).

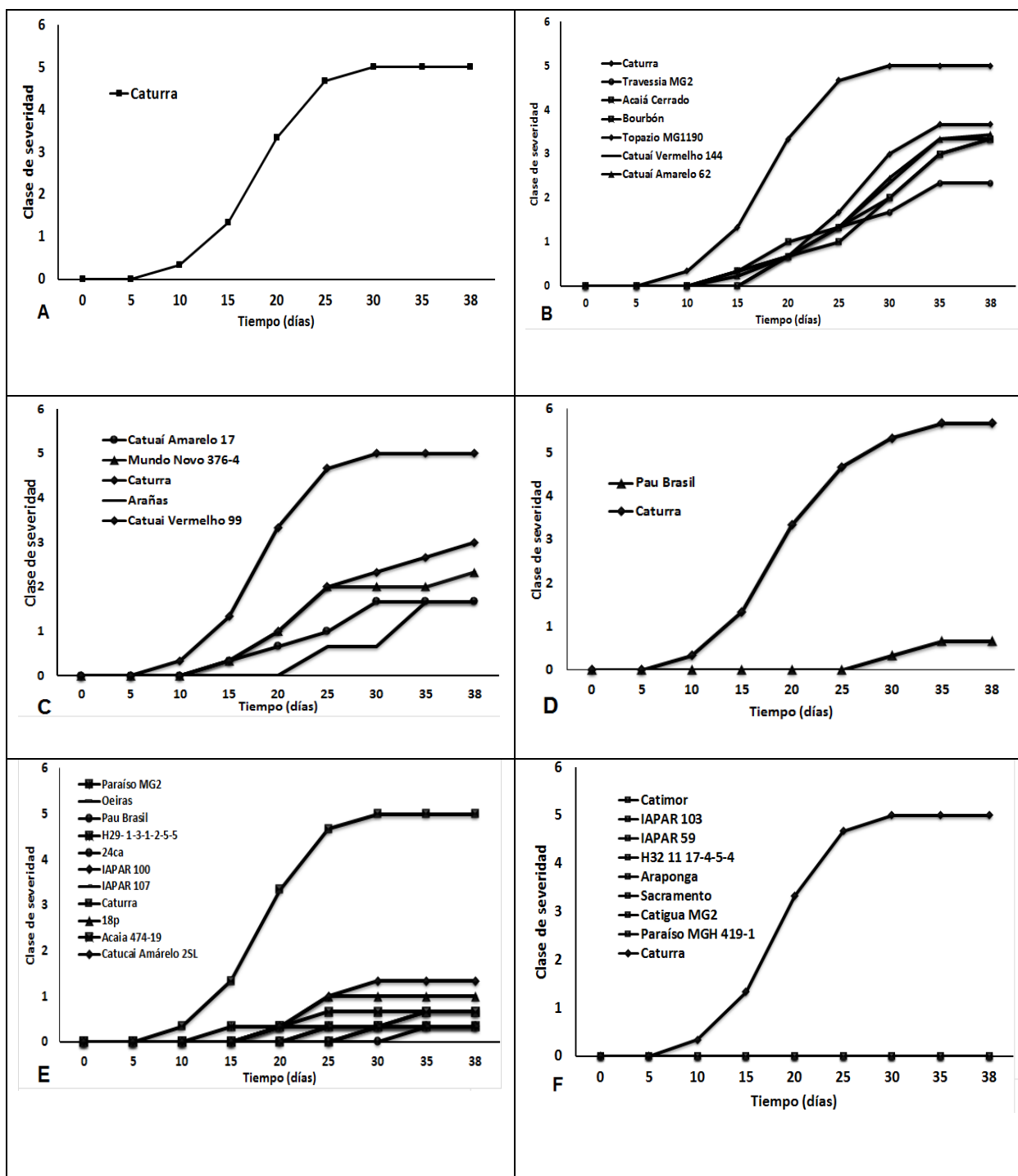


Figura 10. Curvas de progreso de roya en la evaluación de resistencia de cultivares de café en cámara húmeda. Valores corresponden a clases de severidad de clave descriptiva de Eskes (1983) modificada. **A)** susceptible, clase 5; **B)** susceptibles, clase máxima 3.67; **C)** susceptibles, clase máxima 3; **D)** resistencia parcial, clase máxima 1; **E)** resistencia parcial, clase 1.33 y **F)** resistentes. Guatemala, 2016

6.3 Resultados de la evaluación de resistencia de cultivares de café a *Hemileia vastatrix* en ensayos de campo

Se condujeron tres ensayos de campo en las localidades de Parraxé (Samayac, Suchitepéquez), CEDA (zona 12, Ciudad de Guatemala) y Tzanchaj, (Santiago Atitlán, Sololá), a 714 m, 1500 m y 1640 m de altitud respectivamente, todas con diferente ambiente climático. Se observó que algunos genotipos presentaron respuesta diferente en cuanto a la resistencia de roya del café en esos ambientes, los resultados se presentan en el cuadro 8. Los cultivares que presentaron resistencia a roya del café en las tres localidades donde se establecieron los ensayos de campo para la investigación fueron: Catimor, IAPAR103, IAPAR 100, IAPAR 59, H32 11 17-4-5-4, Sacramento, Catiguá MG2, Paraíso MG2, Oeiras, Pau Brasil y 24ca. Los resultados son análogos a los obtenidos en laboratorio cuando evaluados en cámara húmeda, lo que indica que ambos métodos permitieron determinar la resistencia.

Los cultivares de café Paraíso MGH 419-1 y Travessia MG2 presentaron susceptibilidad a roya en las localidades de Parraxé y CEDA con severidad máxima de tres y cinco respectivamente. El cultivar H29- 1-3-1-2-5-5 fue susceptible en Parraxé y Sololá. Los cultivares: Caturra, Catuaí Vermelho 99, Acaiá Cerrado, Borbón, Topazio MG1190, Catuaí Vermelho 144, Catuaí Amarelo 62, Catucaí Amarelo 2SL, Mundo Novo 376-4, Catuaí Amarelo 17 y Acaiá 474-19, se manifestaron susceptibles a *H. vastatrix* en las 3 localidades. Esto indica que las condiciones edafo-climáticas presentes en las localidades donde fueron establecidos los cultivares, favorecieron la expresión de enfermedad de la roya del café.

De los tres ambientes estudiados, en la localidad Parraxé hubo mayor intensidad de enfermedad en los cultivares que fueron susceptibles a roya. Esta localidad se caracteriza por estar situada a 714 m de altitud, con humedad relativa superior 80 % durante todo el año, la temperatura mínima es de 10 °C y máxima 33 °C, 26 °C promedio de 15 años y precipitación pluvial de 6052 mm anual (FODECYT, 2013). Por ello resulta ser un ambiente inductivo para la roya del café. En esta localidad el periodo de incubación oscila

entre 15 días y 20 días para la variedad Caturra (Calderón, 2012). En esta localidad no se establecieron los cultivares IAPAR 103, 24ca y Borbón por limitante de plántulas.

En conclusión, se determinaron materiales resistentes y susceptibles, basado en el estudio se observó que los materiales provenientes del IAPAR se adaptaron mejor a las localidades CEDA Y Sololá que se caracterizan por tener temperatura mínima de 15 °C y máxima 32 °C promedio de 23 °C (2000-2016), humedad relativa entre 46 % a 82 % y precipitación pluvial anual de 3003 mm (Sololá), precipitación anual de 1216 mm (Guatemala) de 16 años. Los materiales mejorados y seleccionados en Minas Gerais, se adaptaron mejor a condiciones secas como las localidades de Guatemala y Santa Rosa (datos no presentados en este documento). Esto justifica la evaluación de adaptación de genotipos cuando se cuenta con variación de micro climas como los que acontecen en Guatemala para evitar problemas a los agricultores. (FODECYT, 2013),

Cuadro 8. Intensidad de roya de café evaluadas en cultivares de café de dos años, en tres localidades de Guatemala en condiciones de campo con manejo de agricultores, 2015-2016.

Cultivar	LOCALIDADES					
	Altitud: 714 m		1500 m		1640 m	
	Finca Parraxé, Suchitepéquez		CEDA, Guatemala		Tzanchaj, Santiago Atitlán, Sololá	
	Incidencia	Severidad	Incidencia	Severidad	Incidencia	Severidad
Catimor	0	0	0	0	0	0
IAPAR 103	NC	NC	0	0	0	0
Iapar 59	0	0	0	0	0	0
H32 11 17-4-5-4	0	0	0	0	0	0
Araponga	0	0	1	3	0	0
Sacramento	0	0	0	0	0	0
Catiguá MG2	0	0	0	0	0	0
Paraíso MGH 419-1	1	3	1	1	0	0
Paraíso MG2	0	0	0	0	0	0
Oeiras	0	0	0	0	0	0
Pau Brasil	0	0	0	0	0	0
H29- 1-3-1-2-5-5	1	3	0	0	1	2
24 Ca	NC	NC	0	0	0	0
IAPAR 100	0	0	0	0	0	0
IAPAR 107	1	3	0	0	0	0
Caturra	1	5	1	5	1	2
Catuaí Vermelho 99	1	5	1	3	1	3
Acaiá Cerrado	1	5	1	5	1	1
Borbón	NC	NC	1	4	1	2
Topazio MG1190	1	5	1	2	1	2
Catuaí Vermelho 144	1	5	1	3	1	2
Catuaí Amarelo 62	1	5	1	4	1	2
Catuaí Amarelo 2SL	1	5	1	2	1	3
Mundo Novo 376-4	1	5	1	5	1	2
Catuaí Amarelo 17	1	5	1	3	1	2
18p	1	3	0	0	0	0
Travessia MG2	1	5	1	4	0	0
Arañas	1	3	0	0	0	0
Acaiá 474-19	1	5	1	3	1	1

NC= No contemplada

6.4 Comparación de los resultados de los métodos de inoculación de discos de hoja y cuantificación de la enfermedad en plantas de café en campo

La comparación de los datos de severidad obtenidos bajo condiciones de cámara húmeda en laboratorio y de los recabados en plantas establecidas en tres localidades productoras de café, se realizó por medio de una tabla comparativa (ver cuadro 9).

Los datos de resistencia de los cultivares de café evaluados mediante el método de inoculación de esporas de *H. vastatrix* en discos de hoja de café, tuvo 65 % de similitud con los datos obtenidos en las tres localidades evaluadas. Al comparar, los resultados del laboratorio, con cada una de las localidades en las cuales se establecieron los cultivares se relaciona en 86 % de los datos cuantificados en la localidad CEDA y Sololá, son iguales a los obtenidos bajo condiciones controladas y un 81 % de los resultados de la finca Parraxé concuerdan con los obtenidos en laboratorio. Los datos fueron análogos con cierta variación de acuerdo a la condición ambiental donde estuvieron establecidos los discos de hoja de café y las plantas en campo.

La severidad máxima observada en el laboratorio puede ser utilizada como factor determinante en la resistencia de cultivares como se observa en el cuadro 9. Los cultivares que presentaron grado de severidad máxima cuatro y cinco, fueron susceptibles en las tres localidades. Esto indica que cuando un cultivar expresa este grado de severidad en condiciones de cámara húmeda esta susceptibilidad se puede expresar en condiciones ambientales similares en campo. Cuando el grado de severidad es cero y uno, existe la probabilidad de 73 % que los cultivares tengan ese comportamiento en campo.

Un factor que puede ser considerado como determinante en la susceptibilidad o resistencia de un cultivar a la roya de café es la raza de *H. vastatrix* presente en el ambiente. Para este estudio no fue determinado por la carencia de genotipos diferenciales en Guatemala.

A partir de los datos obtenidos en esta investigación, en la evaluación de los dos métodos contemplados, se concluye que se obtuvo resultados análogos y que son útiles en la determinación y selección de cultivares de café resistentes a la roya. Los cultivares de café catalogados como resistentes en cada localidad pueden ser conducidos en parcelas

semi-comerciales para dar seguimiento a su adaptación dando prioridad a características como: rendimiento, resistencia a roya y calidad de taza con agricultores de manera local.

Cuadro 9. Comparación de la resistencia de cultivares de café a *Hemileia vastatrix*, en campo y en discos de hoja de café inoculados con uredosporas en cámara húmeda en laboratorio, 2015-2016.

CULTIVAR	Resistencia/susceptibilidad				Severidad máxima laboratorio
	Laboratorio	Finca Parraxé	CEDA	Sololá	
Catimor	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	0
IAPAR 59	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	0
H32 11 17-4-5-4	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	0
Sacramento	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	0
Catiguá MG2	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	0
Paraíso MG2	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	1
Oeiras	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	1
Pau Brasil	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	1
IAPAR 100	Resistente	Resistente	Resistente	Resistente	1
Caturra	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	5
Catuaí Vermelho 99	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	5
Acaiá Cerrado	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	5
Topazio MG1190	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	5
Catuaí Vermelho 144	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	5
Catuaí Amarelo 62	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	5
Catuaí Amarelo 2SL	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	4
Mundo Novo 376-4	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	4
Catuaí Amarelo 17	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	3
Acaiá 474-19	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Susceptible	2
Travessia MG2	Susceptible	Susceptible	Susceptible	Resistente	3
Arañas	Susceptible	Resistente	Resistente	Resistente	2
Paraíso MGH 419-1	Resistente	Susceptible	Susceptible	Resistente	0
Araponga	Resistente	Resistente	Susceptible	Resistente	0
H29- 1-3-1-2-5-5	Resistente	Susceptible	Resistente	Susceptible	1
IAPAR 107	Resistente	Susceptible	Resistente	Resistente	1
18p	Susceptible	Resistente	Resistente	Resistente	3
IAPAR 103	Resistente	NC	Resistente	Resistente	0
24Ca	Resistente	NC	Resistente	Resistente	1
Borbón	Susceptible	NC	Susceptible	Susceptible	5

NC= no contemplada

7 CONCLUSIONES

1. Por medio del método de inoculación de esporas de *Hemileia vastatrix* en discos de hoja de café, se determinó que los cultivares resistentes fueron: **IAPAR 107, IAPAR 103, IAPAR 100, 24ca, IAPAR 59, H29- 1-3-1-2-5-5, H32- 11 17-4-5-4, Catucaí Amarelo 2SL, 18p, Pau Brasil, Acaiá 474-19, Araponga, Oeiras, Sacramento, Paraíso MGH 419-1 y Catiguá MG2.**
2. A nivel de campo se observó que los cultivares que expresaron resistencia fueron: **Catimor**, (testigo resistente), **IAPAR 59, IAPAR 100, IAPAR103, IAPAR 107, H32 11 17-4-5-4, Sacramento, Catiguá MG2, Paraíso MG2, Oeiras, Pau Brasil, 24ca, Aranãs y 18p.**
3. Los dos métodos utilizados en la evaluación de la resistencia a roya del café fueron análogos. Se determinó 85 % de correspondencia en los resultados entre ambos métodos.

8 RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento a la caracterización de los cultivares de café resistentes, seleccionados en este estudio y evaluarlos en parcelas semi comerciales para recomendarlos de manera local a los agricultores basados en su rendimiento y calidad de taza.
2. Implementar a nivel de laboratorio el método de inoculación de esporas de *H. vastatrix* en discos de hoja de café, en cámara húmeda como método de selección de cultivares de café con resistencia para planificar la evaluación de campo. En la parte metodológica realizar por lo menos cinco repeticiones y cuantificar intensidad de roya en intervalos de cinco días durante mes y medio.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFÉ (Asociación Nacional del Café, GT). s.f. Los cafés de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 23 set 2016. Disponible en http://anacafe.org/glifos/index.php?title=BuenCafe_CafesdeGuatemala
2. _____. 2006. Guía técnica de caficultura. Guatemala. 213 p.
3. _____. 2013a. La roya del café es una enfermedad temible pero puede controlarse (en línea). Guatemala. Consultado 9 oct 2016. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Recomendaciones_Control_Roya
4. _____. 2013b. Roya afecta el 49% de cafetales (en línea). Guatemala. Consultado 9 oct 2016. Disponible en http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=13NOT:INT_Roya_afecta_49_por_cient_o_cafetales
5. _____. 2016. Política de ambiente y cambio climático para el sector café de Guatemala. 2016. 36 p
6. Anzueto R, F. 2013. Variedades de café resistentes a la roya. (en línea). Guatemala. Consultado 9 oct 2016. Disponible en: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_resistentes_a_roya
7. Arneson, P. 2006. Epidemiología de las enfermedades de las plantas: los aspectos temporales (en línea). Consultado 9 set 2016. Disponible en <http://www.apsnet.org/edcenter/advanced/topics/Epidemiologia/Pages/default.aspx>
8. Badii, M; Castillo, J; Cortez, K; Wong, A; Villalpando, P. 2007. Análisis de correlación Canónica (ACC) e investigación científica. México, UANL. p. 405-422.
9. Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Casanoves, F; Di Rienzo, JA; Robledo, C. 2008. Manual de usuario. Córdoba, Argentina, Brujas. 331 p.
10. BANGUAT (Banco de Guatemala, GT). 2015. Guatemala en cifras. Guatemala. 70 p.
11. _____. Producto interno bruto trimestral, medido por el origen de la producción (en línea). Guatemala. Consultado 16 ene 2017. Disponible en https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/CED_3T_2016.pdf
12. Braz, A. 2012. Caracterização cariológica do fungo *Hemileia vastatrix* responsável pela ferrugem alaranjada do cafeeiro. Brasil, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 91 p.

13. Cabral, P; Zambolim, E; Zambolim, L; Lelis, T; Capucho, A; Caixeta, E. 2009. Identification of a new race of *Hemileia vastatrix* in Brazil. Australasian Plant Disease Notes 4:129–130.
14. Calderón Estrada, G. 2012. Epidemiología de la roya del café causada por *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., en las regiones central y sur occidental de Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 102 p.
15. Carvalho, C; Braz, J; Almeida, S; Ferreira, R; Padilha, L; Bueno, I; Galdino, P. 2011. Comportamento de cultivares de café com resistencia à ferrugem_docafeiro no sul estado de Minas Gerais. In Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil (7, 2011, BR). Brasil. 5 p.
16. CENICAFÉ (Centro de Investigaciones de Café, CO). 2011. La roya del cafeto en Colombia. Colombia. 53 p.
17. Consórcio Café Pesquisa, BR. 2011a. Apresentação do consórcio (en línea). Brasil. Consultado 15 jul 2016. Disponible en <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/consorcio/separador2/apresentacao>
18. _____. 2011b. Cultivares de café (en línea). Brasil. Consultado 15 jul 2016. Disponible en <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/2016-05-09-18-10-56>
19. Costa, M; Zambolim, L; Caixeta, E; Pereira, A. 2007. Resistência de progênies de café Catimor à ferrugem. Fitopatol. Bras. 32(2):121-131.
20. Eskes, AB. 1983a. Assessment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.). In Eskes, AB. Incomplete resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). Wageningen, The Netherlands, Landbouwhogeschool. p. 4-14.
21. Eskes, AB. 1983b. The use of leaf disk inoculation in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). In Eskes, A. Incomplete resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). Wageningen, The Netherlands, Landbouwhogeschool. p. 15-32.
22. Fazuoli, L; Braghini, M; Silvarolla, M; Baião de Oliveira, A. 2007. A ferrugem alaranjada do cafeeiro e a obtenção de cultivares resistentes. O Agrônomo Campinas 59(1):48-53.
23. FCA (UNC, Facultad de Ciencias Agropecuaria, AR). s.f. Mejoramiento para resistencia a enfermedades. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba-UNC-. 23 p.

24. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. 2010. Manejo agronómico del café: principales plagas y enfermedades (en línea). Colombia. Consultado 11 set 2016. Disponible en http://cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/manejo_agronomico/
25. Flores, E. 1999. La planta estructura y función. Costa Rica, Libro Universitario Regional. p. 369-581.
26. FODECYT (Fondo para el desarrollo Científico y Tecnológico). 2017. Proyecto FODECYT 33-2013. Determinación y evaluación de algunos factores que coinciden en la proliferación de la roya del café, causada por el hongo *Hemileia vastatrix* y propuesta de manejo en Guatemala. 171p.
27. García, EA. 2016. Variedades de café (en línea). Guatemala, ANACAFE. Consultado 11 set 2016. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Variedades_de_cafe
28. García, E; Lozoya, E. 2004. Genes de resistencia a enfermedades en plantas. Revista Mexicana de Fitopatología 22(3):414-422.
29. García, M. s.f. Informe de daños Region III (en línea). Guatemala, ANACAFE. Consultado 1 oct 2016. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Informe_de_Danos
30. Hernández, Y. 2010. Defensa de las plantas a los fitopatógenos (en línea). Venezuela, Universidad Central de Maracay. Consultado 11 set 2016. Disponible en http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Fitopatologia/Defensa_de_Plantas_2010.pdf.
31. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2012. Condiciones climáticas (en línea). Guatemala. Consultado 05 feb 2016. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia.html>
32. Leguizamón Caycedo, J; Orozco Gallego, L; Gómez Gómez, L. 1998. Períodos de incubación (PI) y de latencia (PL) de la roya del cafeto en la zona cafetera central de Colombia. Colombia, Cenicafé. p. 325-339.
33. López, R. 2006. Caracterización de tres variedades de café (*Coffea arabica*) en tres zonas ecológicas del país. 68 p. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 68 p.
34. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2013. El impacto de la roya del café en el país. Guatemala. 24 p.

35. _____. s.f. Manejo fitosanitario de la roya del café (en línea). Consultado 20 ago 2016. Disponible en: [http://web.maga.gob.gt/wp-content/uploads/img/roya/manejo fitosanitario de la roya del cafe.pdf](http://web.maga.gob.gt/wp-content/uploads/img/roya/manejo_fitosanitario_de_la_roya_del_cafe.pdf)
36. Mondino, P. 2012. Resistencia a fungicidas, concepto y manejo (en línea). Consultado 16 ene 2017. Disponible en [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30165/Material de soporte/Resistencia a fungicidas conceptos y manejo.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30165/Material_de_soporte/Resistencia_a_fungicidas_conceptos_y_manejo.pdf)
37. Mora, N. (2008). Agrocadena del café. Costa Rica, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección Regional Huetar Norte. 17 p.
38. Moreno-Altamirano, A; López-Moreno, S; Corcho-Berdugo, A. 2000. Principales medidas en epidemiología salud pública de México. Salud Pública de México 42(4):109-120.
39. Oliver, JC; Rosel, J; Jara, P. 2000. Modelos de regresión multinivel: aplicación en psicología escolar. Psicothema 12(3):487-494.
40. Ponsot Balaguer, E; Sinka, S; Gotia, A. 2009. Sobre la agrupación de niveles del factor explicativo en el modelo logit binario. Colombiana de Estadística 32(2):157-187.
41. SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Social, Física y Alimentación, MX). 2013. Ficha técnica roya de cafeto *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. México, Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. 26 p.
42. Silva, DC; Várzea, V; Guerra-Guimarães, L; Gil Azinheira, H; Fernandez, D; Petitot, AS; Nicole, M. 2006. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. Braz. J. Plant Physiol. 18(1):119-147.
43. Soto, K. 2012. Selección de genotipos promisorios de café (*Coffea arabica* L.) basados en caracteres agromorfológicos, resistencia a plagas y enfermedades en finca Las Flores, Barberena, Santa Ros, Guatemala, C.A. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 79 p.
44. UAM (Universidad Autonoma de Madrid, ES) s.f. Modelos de probabilidad, prueba de Bernoulli. (en línea). Consultado 28 ago 2016. Disponible en http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/ortega/docencia/0809AGE/Modelos0809.pdf
45. Wagner, R. 2001. Historia del café de Guatemala. Guatemala, Villegas Editores. 224 p.